



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΛΕΞΕΩΝ – ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2022

«Προχωρημένες διεργασίες στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων
και ανάκτηση νερού»

**Enhancement of anaerobic digestibility of lipids and optimization of biogas
production by implementing emulsification as pre-treatment method**

Δρ. Ευταξίας Αλέξανδρος

Εάνθη, 3 Ιουνίου 2022

Σύνοψη μαθήματος

- ▶ **Μέρος 1. Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης**
 - ▶ Μεταβολισμός υποστρωμάτων σε εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης
 - ▶ Ένζυμα και εξω-κυτταρικά πολυμερή
- ▶ **Μέρος 2. Βασικοί τύποι υποστρωμάτων**
 - ▶ Υποστρώματα που ενδιαφέρουν τις εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης
 - ▶ Θεωρητικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου για κάθε τύπο υποστρώματος
 - ▶ Παράμετροι που επηρεάζουν το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου
- ▶ **Μέρος 3. Αναερόβια χώνευση λιπών - ελαίων**

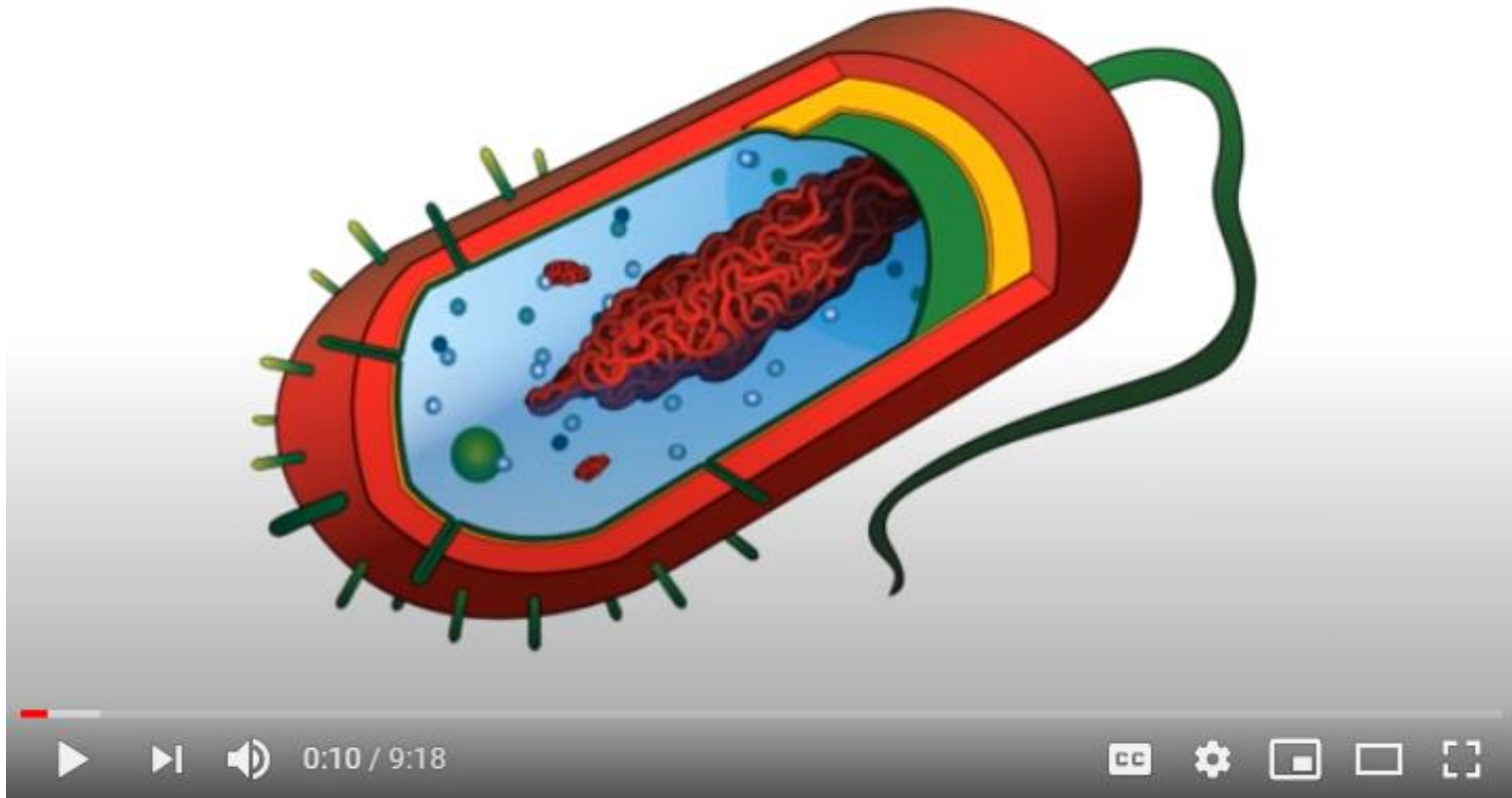
Μέρος 1. Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης

- ▶ Πως γίνεται ο μεταβολισμός των υποστρωμάτων σε μια εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης
- ▶ Τι είναι τα ένζυμα – οι καταλύτες των βιολογικών αντιδράσεων
- ▶ Τι είναι τα εξω-κυτταρικά πολυμερή
- ▶ Ποιος ο ρόλος των εξω-κυτταρικών πολυμερών

Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης

- ▶ Η αποικοδόμηση (μεταβολισμός) των υποστρωμάτων σε μια εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης γίνεται με τη δράση ενζύμων.
- ▶ Οι καταλύτες αυτοί (ένζυμα) είναι πρωτεΐνες και παράγονται μέσα στους μικροοργανισμούς.
- ▶ Η αποικοδόμηση των υποστρωμάτων πραγματοποιείται με δύο τύπους ενζύμων: τα ενδο-κυτταρικά και τα εξω-κυτταρικά.
 - ▶ Τα ενδο-κυτταρικά ένζυμα αποικοδομούν διαλυτά υποστρώματα μέσα στα κύτταρα
 - ▶ Τα εξω-κυτταρικά ένζυμα απελευθερώνονται από τους μικροοργανισμούς και αποικοδομούν αδιάλυτα υποστρώματα.

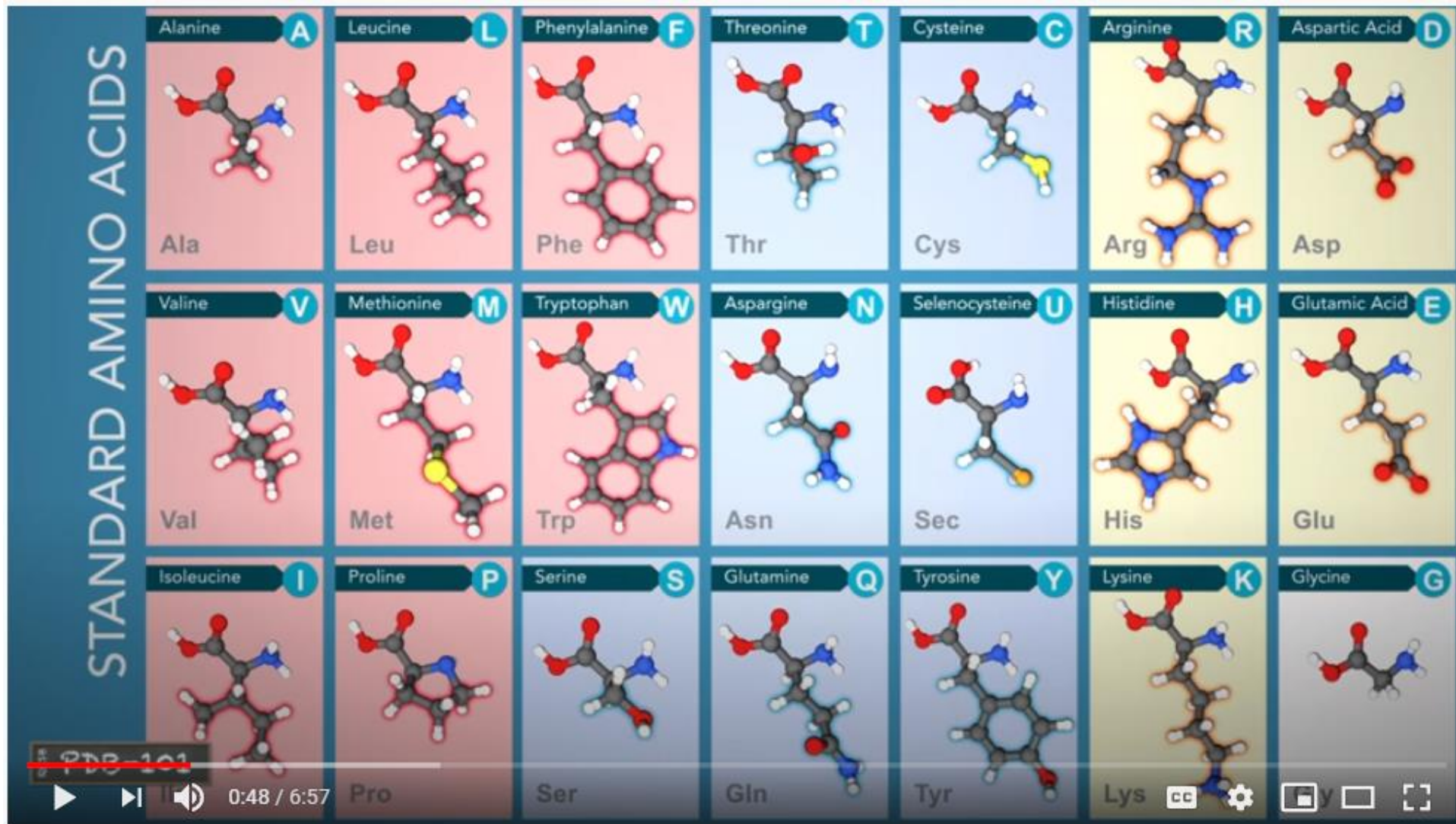
Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης



[Gram Positive vs. Gram Negative Bacteria](#)

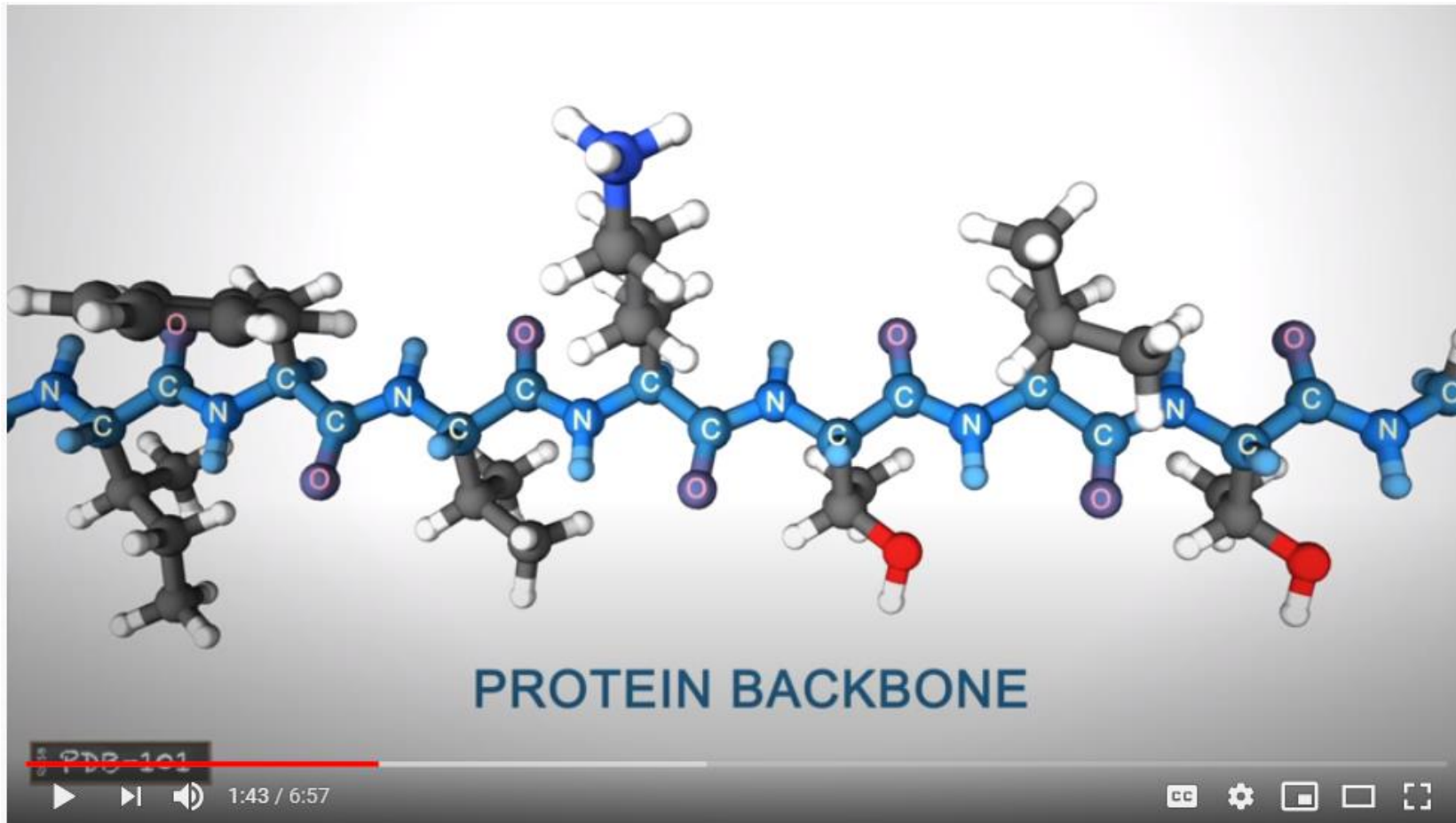
5

Η δομή των ενζύμων



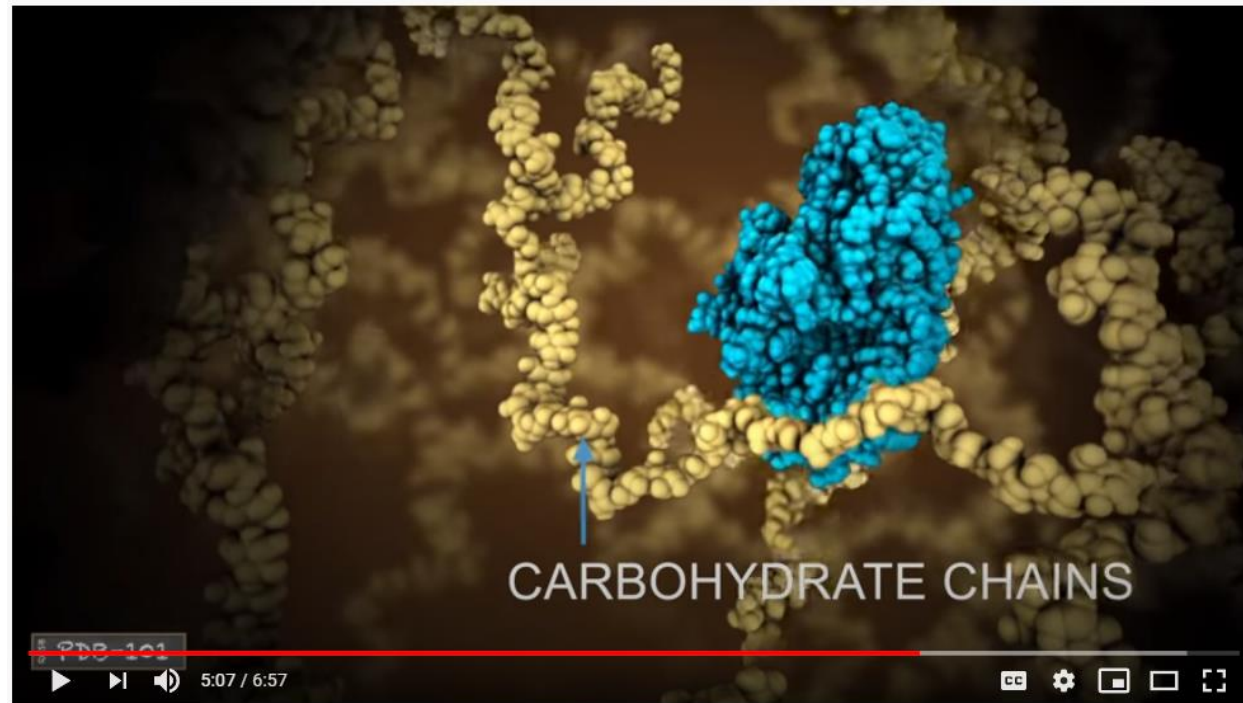
[What is a protein](#)

Η δομή των ενζύμων



[What is a protein](#)

Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης

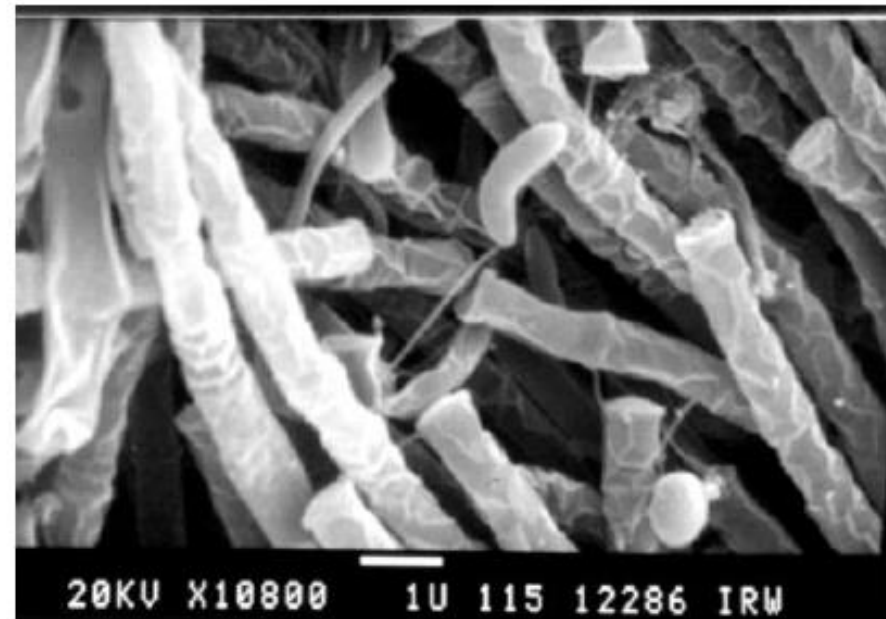


 [What is a protein](#)

Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης



(α)

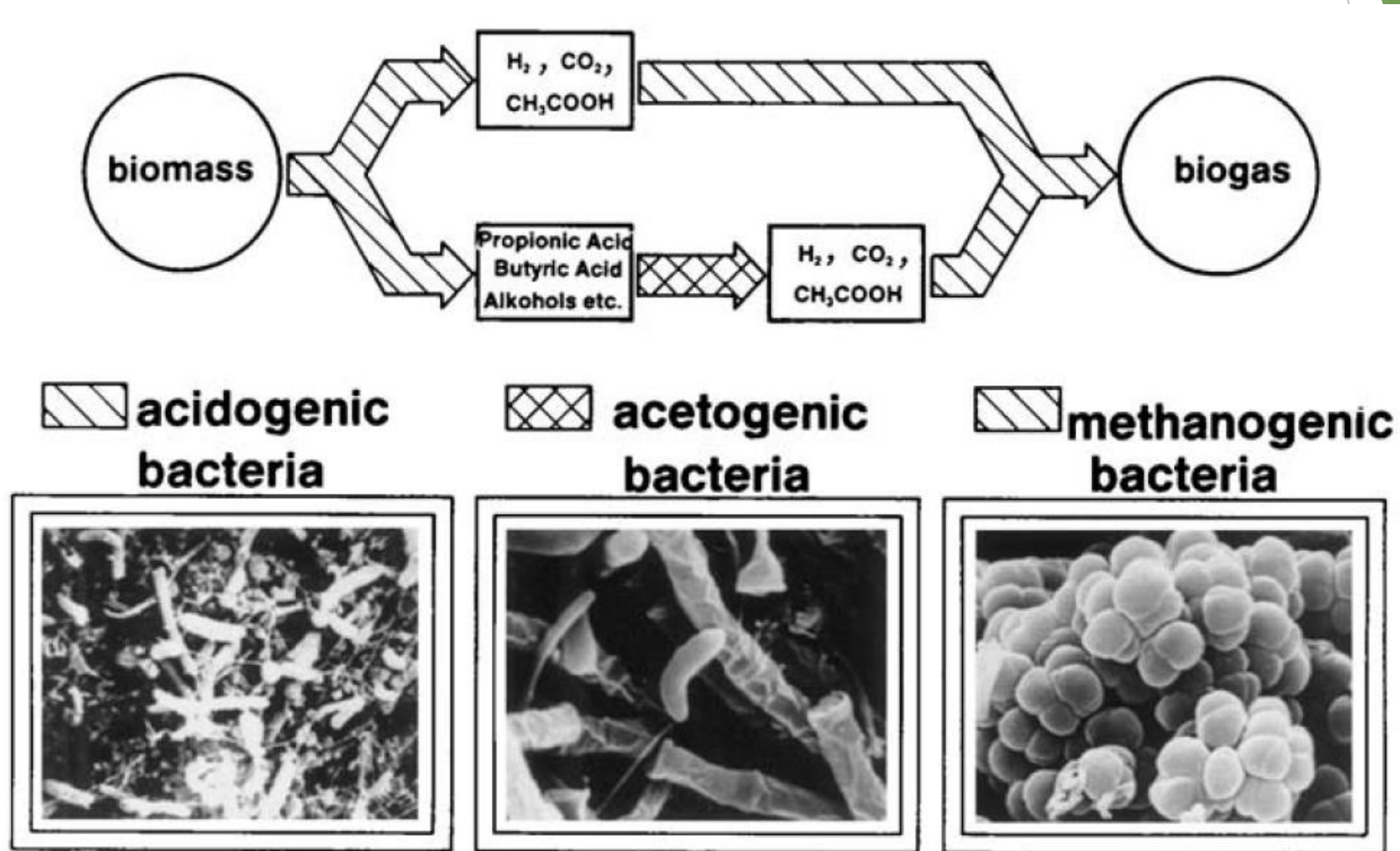


(β)

Σχήμα 3. 2. Φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης των μεθανιογόνων μικροοργανισμών (α) *Methanosarcina barkeri* και (β) *Methanotherix* sp..

Διαμαντής (2006) Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων
ΔΠΘ

Εισαγωγή στη μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης

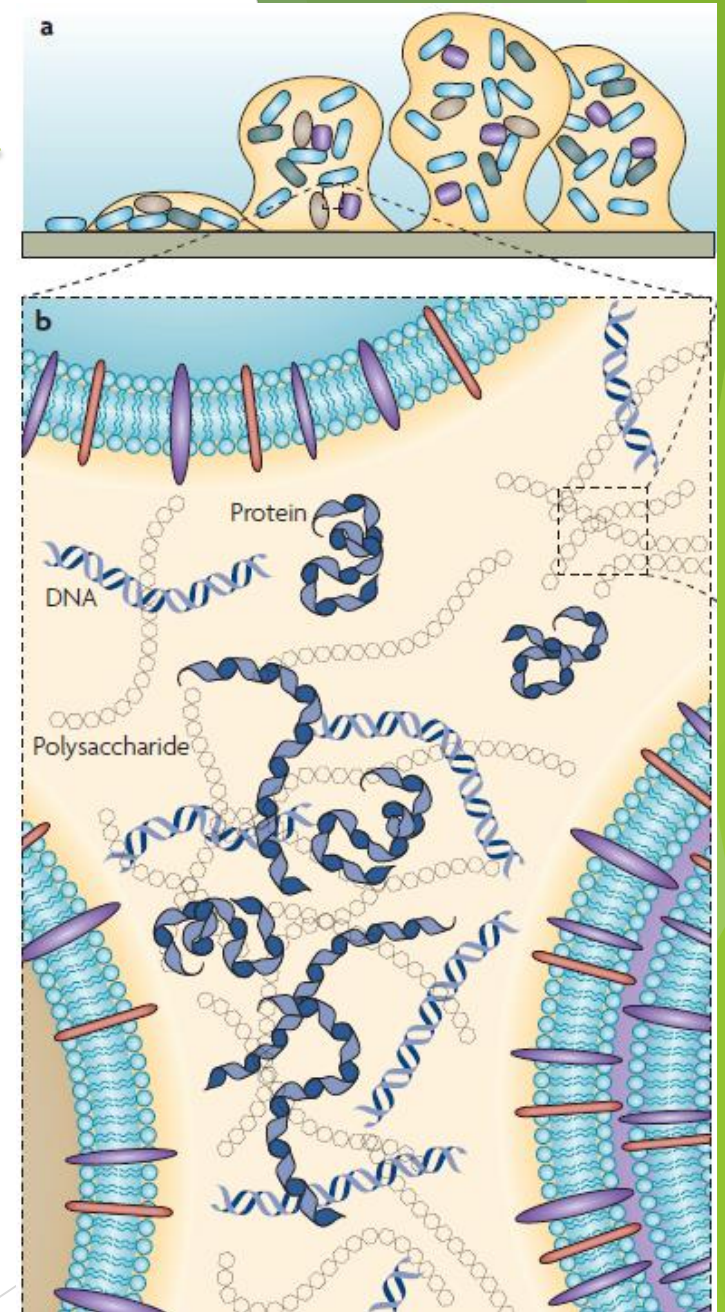


Αϊβαζίδης (2002) Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων ΔΠΘ¹⁰

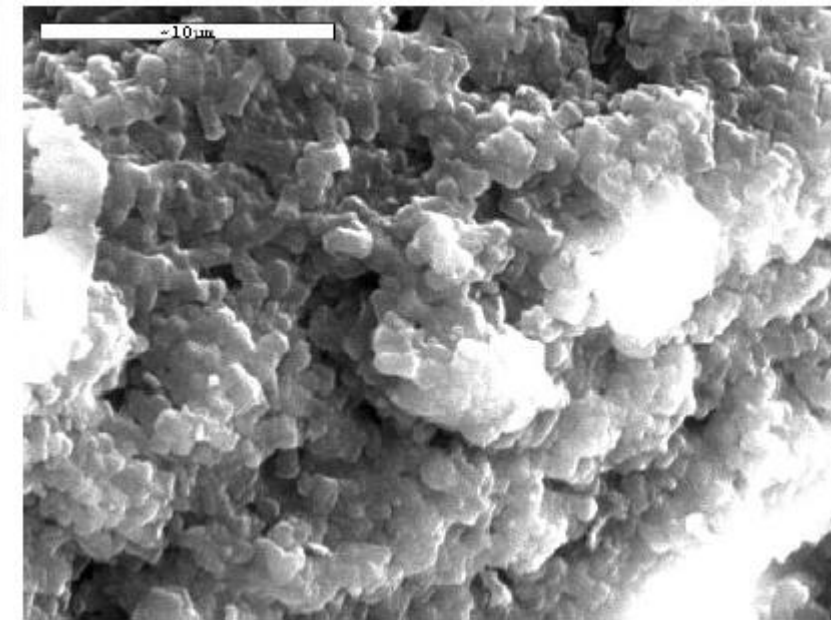
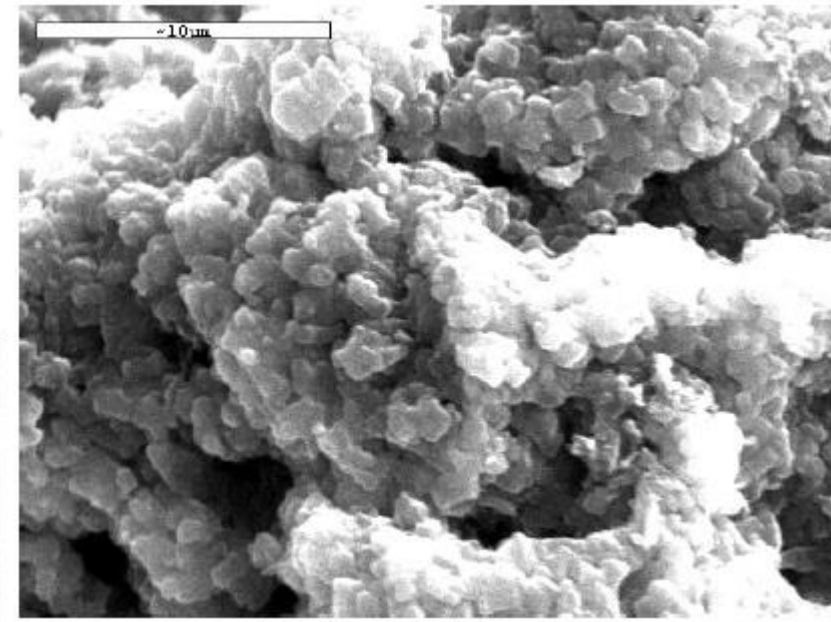
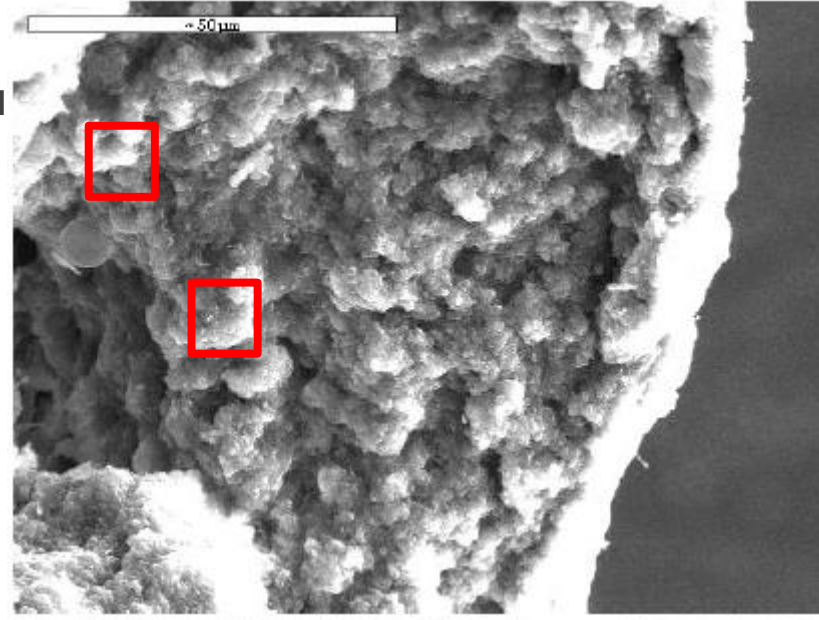
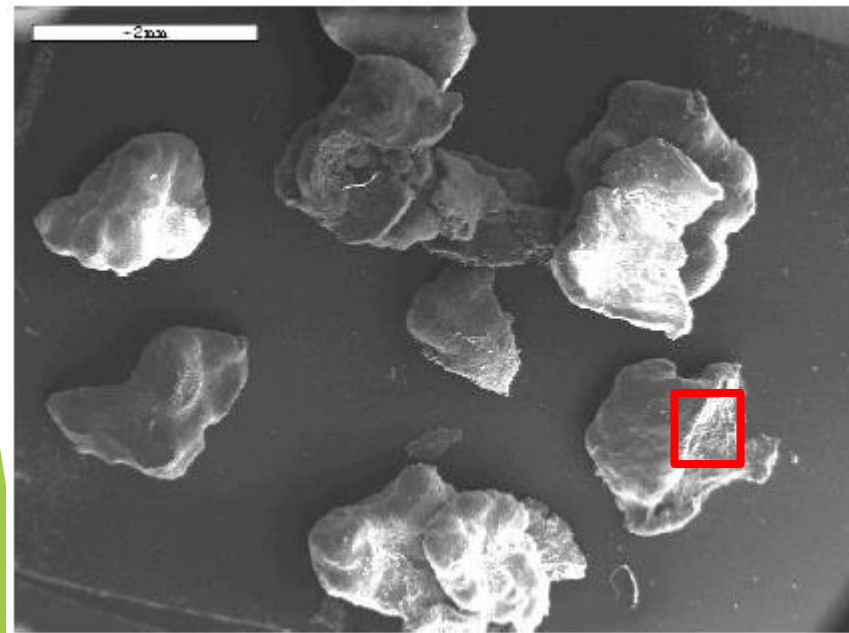
Εξω-κυτταρικά πολυμερή (EPS)

- ▶ Οι μικροοργανισμοί ζουν σε ένα περιβάλλον (biofilm) το οποίο αποτελείται από εξω-κυτταρικά πολυμερή (EPS).
- ▶ Τα EPS παράγονται από τους ίδιους τους μικροοργανισμούς.
- ▶ Σχηματίζουν ένα τρισδιάστατο πλέγμα το οποίο επιτελεί πολλαπλές λειτουργίες.

Flemming and Wingender (2010) Nature Reviews Microbiology 8, 623-633



Εξω-κυτταρικά πολυμερή (EPS)



Διαμαντής (2006) Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων,
ΔΠΘ

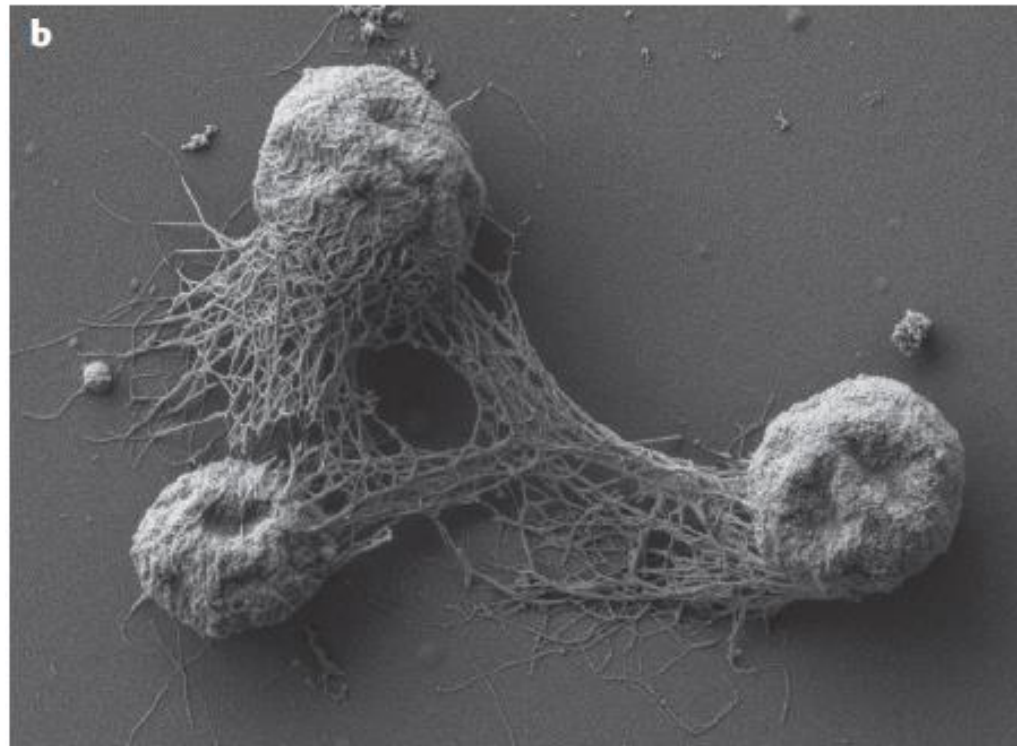
Ο ρόλος των εξω-κυτταρικών πολυμερών

- ▶ **Προσκόλληση** των μικροοργανισμών σε επιφάνειες αλλά και συγκράτηση των μικροοργανισμών μεταξύ τους.
- ▶ Εξασφάλιση της **μηχανικής σταθερότητας** του biofilm.
- ▶ **Προστασία** από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς κινδύνους.
- ▶ Παγίδευση – **προσρόφηση οργανικών** και ανόργανων συστατικών
- ▶ **Πηγή θρεπτικών**
- ▶ **Συγκράτηση εξω-κυτταρικών ενζύμων** (πλησίον των μικροοργανισμών) και διατήρηση **ενζυμικής δραστηριότητας** (εξωτερικό σύστημα χώνευσης)

Flemming and Wingender (2010) Nature Reviews Microbiology 8, 623-633

Προσκόλληση μικροοργανισμών σε επιφάνειες

- ▶ Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου στην οποία φαίνονται δέσμες μαστίγιων τα οποία χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί για την **προσκόλληση** σε επιφάνειες και την **επικοινωνία** μεταξύ τους.



Albers and Meyer (2011) Nature Reviews Microbiology 11, ¹⁴ 414-426

Ανακεφαλαίωση

- ▶ Ο ρόλος των ενζύμων στο μεταβολισμό υποστρωμάτων
 - ▶ Είναι πρωτεΐνες
 - ▶ Παράγονται από τους μικροοργανισμούς
 - ▶ Ενδο-κυτταρικά ένζυμα
 - ▶ Εξω-κυτταρικά ένζυμα
- ▶ Εξω-κυτταρικά πολυμερή
 - ▶ Προσκόλληση – συγκράτηση – μηχανική αντοχή biofilm
 - ▶ Προστασία μικροοργανισμών
 - ▶ Συγκράτηση εξω-κυτταρικών ενζύμων

ΑΠΟΡΙΕΣ



Μέρος 2. Βασικοί τύποι υποστρωμάτων

- ▶ Ποιοι είναι οι σημαντικότεροι τύποι υποστρωμάτων που ενδιαφέρουν για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης.
- ▶ Ποιο είναι το θεωρητικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου για κάθε τύπο υποστρώματος.
- ▶ Από ποιες παραμέτρους εξαρτάται το πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου σε εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης.

Βασικοί τύποι υποστρωμάτων

- ▶ Υδατάνθρακες
- ▶ Πρωτεΐνες
- ▶ Λίπη/ έλαια
- ▶ Οργανικά οξέα
- ▶ Αλκοόλες



Επεξεργασία κρέατος



Παραγωγή ελαιολάδου



Τυροκόμιση γάλακτος



Χυμοποίηση ροδιών



Οινοποίηση σταφυλιών



Παραγωγή μπύρας



Απόσταξη τσίπουρου



Θεωρητικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου

Βασικοί τύποι υποστρωμάτων

- ▶ Υδατάνθρακες: $550 \text{ m}^3/\text{tn VS}$
- ▶ Πρωτεΐνες: $750 \text{ m}^3/\text{tn VS}$
- ▶ Λίπη/έλαια: $1200 \text{ m}^3/\text{tn VS}$

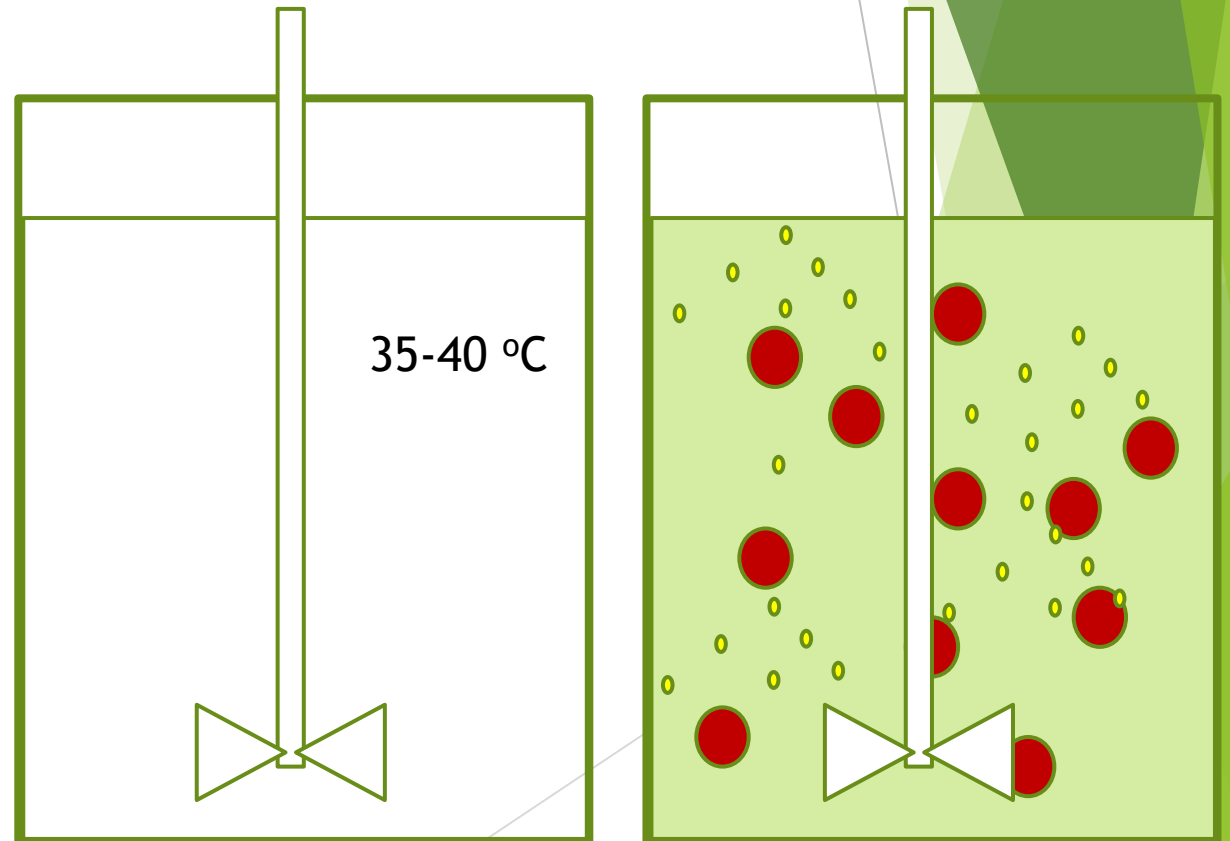
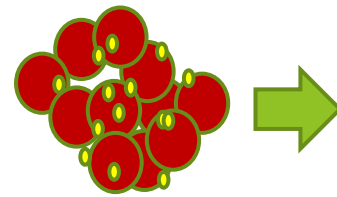
Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου

- ▶ Συγκέντρωση και ενεργότητα ενζύμων (μικροοργανισμών)
- ▶ Δομή υποστρώματος (διαλυτό, κολλοειδές, στερεό)
- ▶ Μέγεθος, σχήμα και επιφάνεια στερεών σωματιδίων
- ▶ Σύσταση του υποστρώματος
- ▶ Διαθεσιμότητα υποστρώματος στους μικροοργανισμούς
- ▶ Περιορισμοί στη μεταφορά υποστρωμάτων μέσα στον αντιδραστήρα

Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

1) Δομή του υποστρώματος

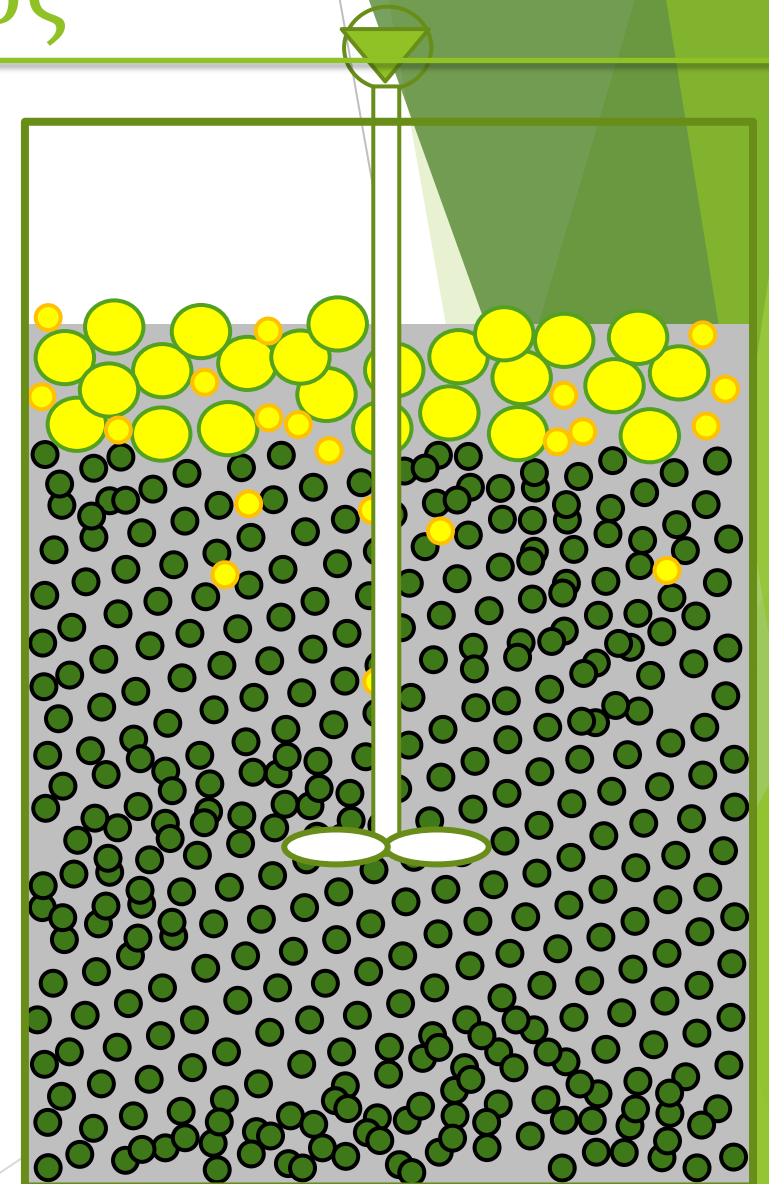
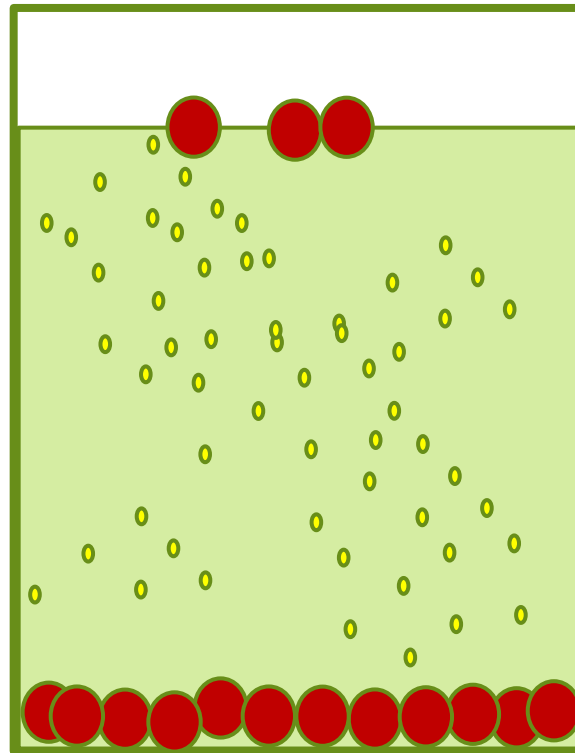
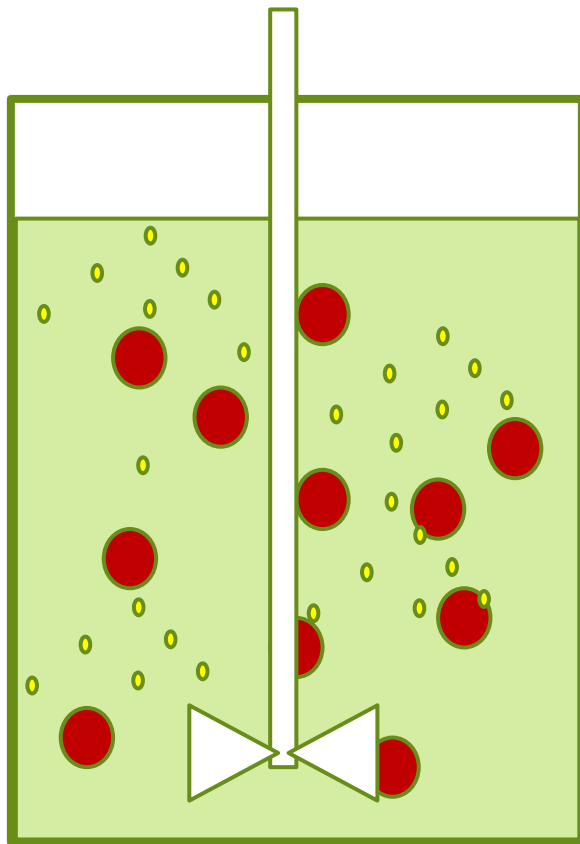
- ▶ Διακεκριμένα σωματίδια
- ▶ Κολλοειδή σωματίδια (βρίσκονται σε αιώρηση)
- ▶ Διαλυτά συστατικά



Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

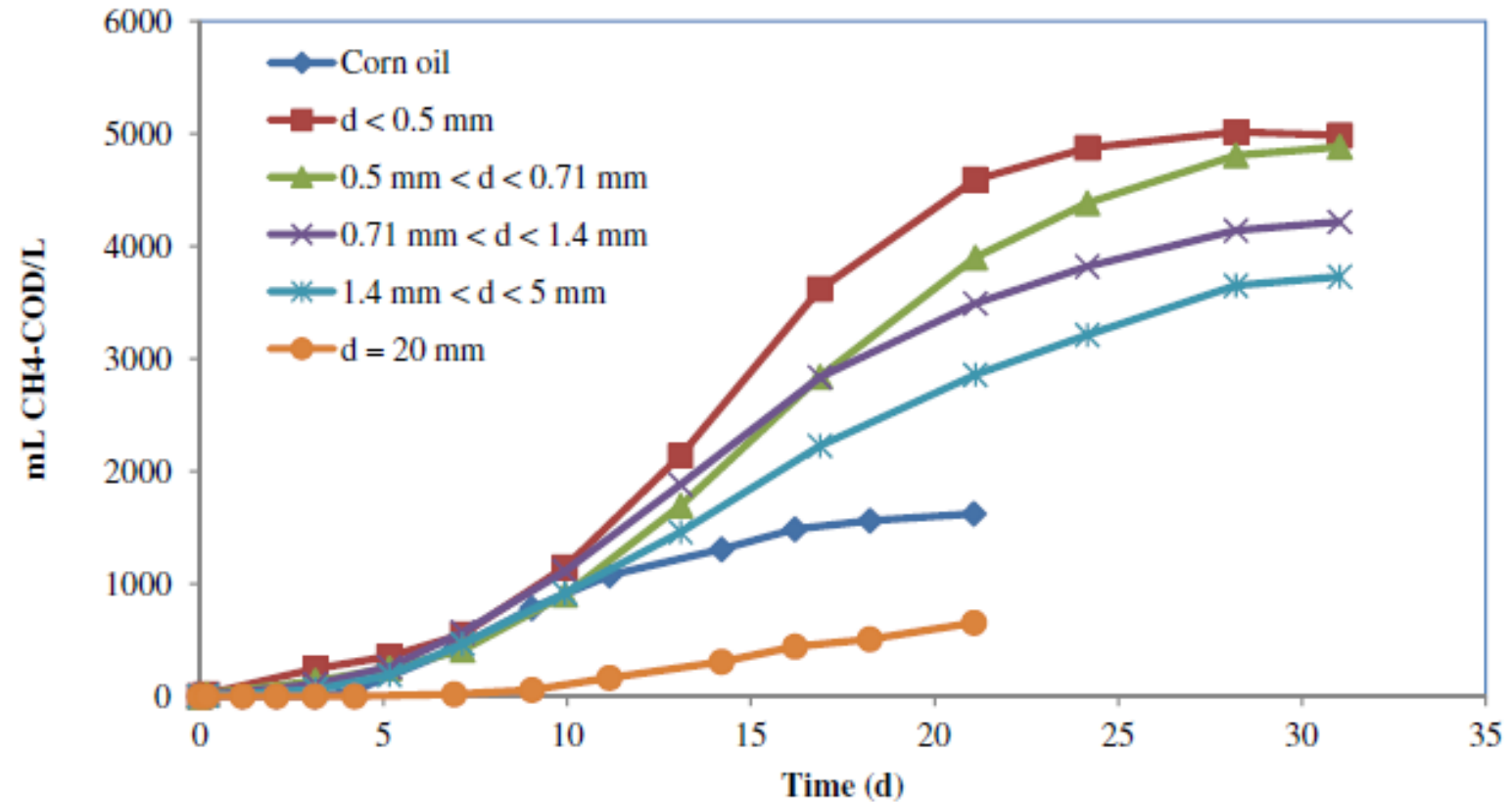
2) Διαθεσιμότητα υποστρώματος

- ▶ Επίπλευση σωματιδίων
- ▶ Καθίζηση σωματιδίων



Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

3) Μέγεθος, σχήμα, επιφάνεια υποστρώματος

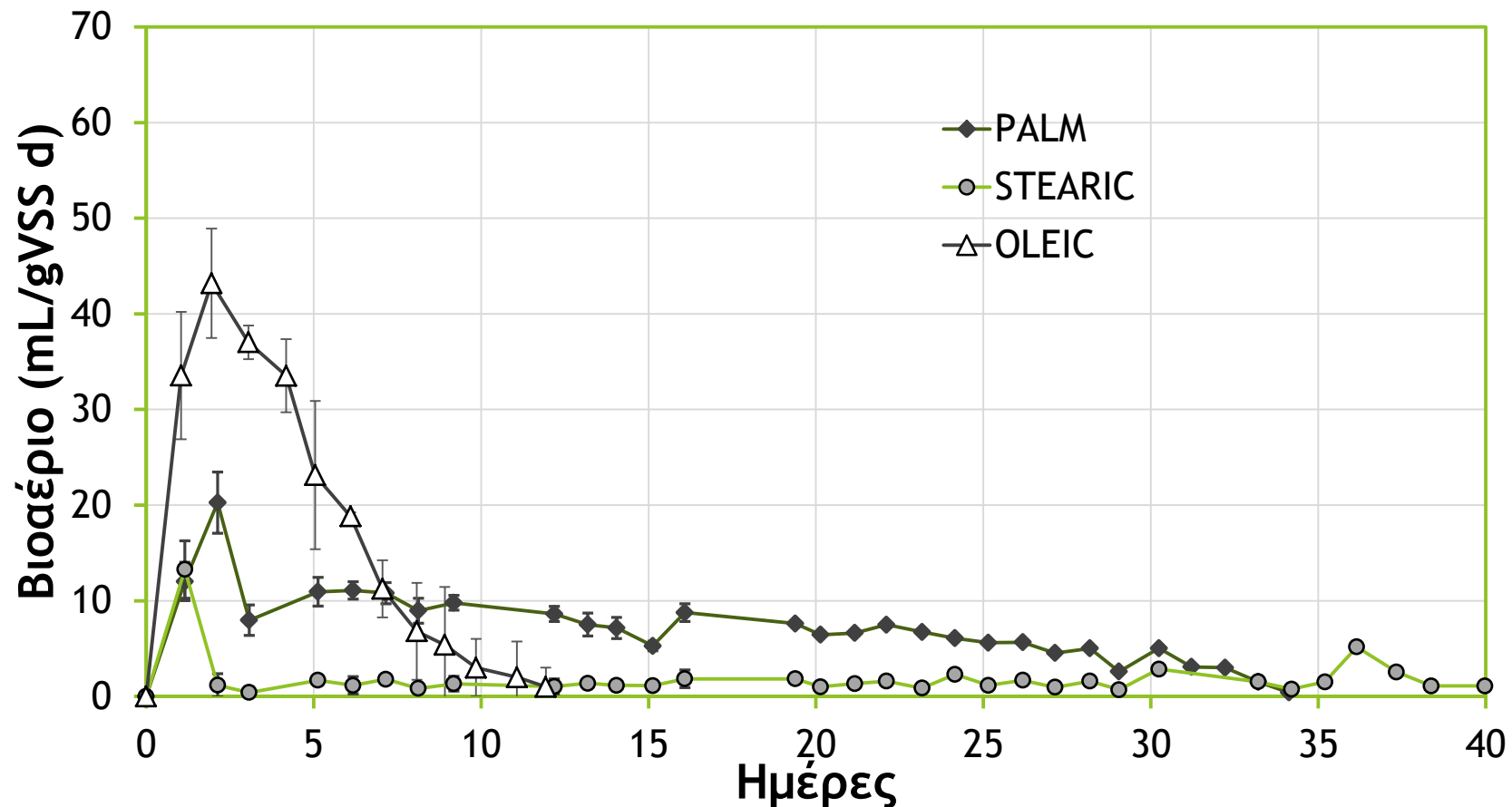


Dereli et al. (2014) Water Research 49, 453-464.

30

Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

4) Σύσταση του υποστρώματος



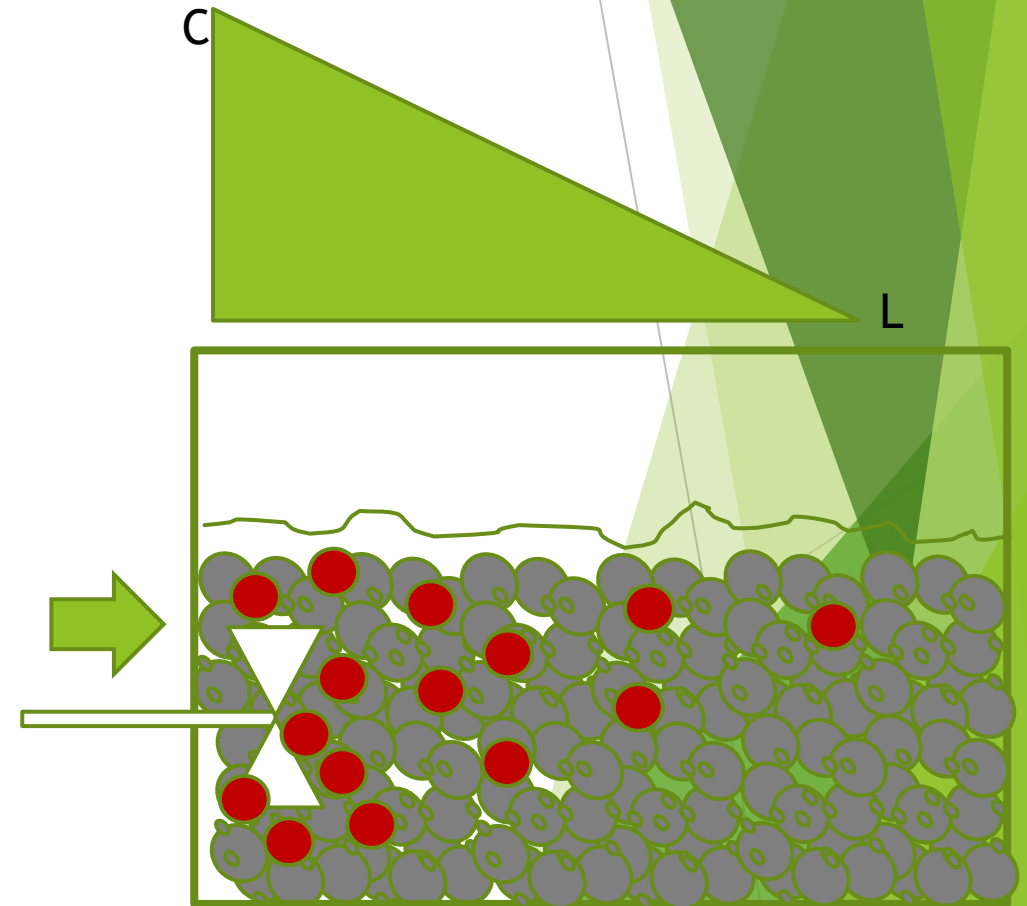
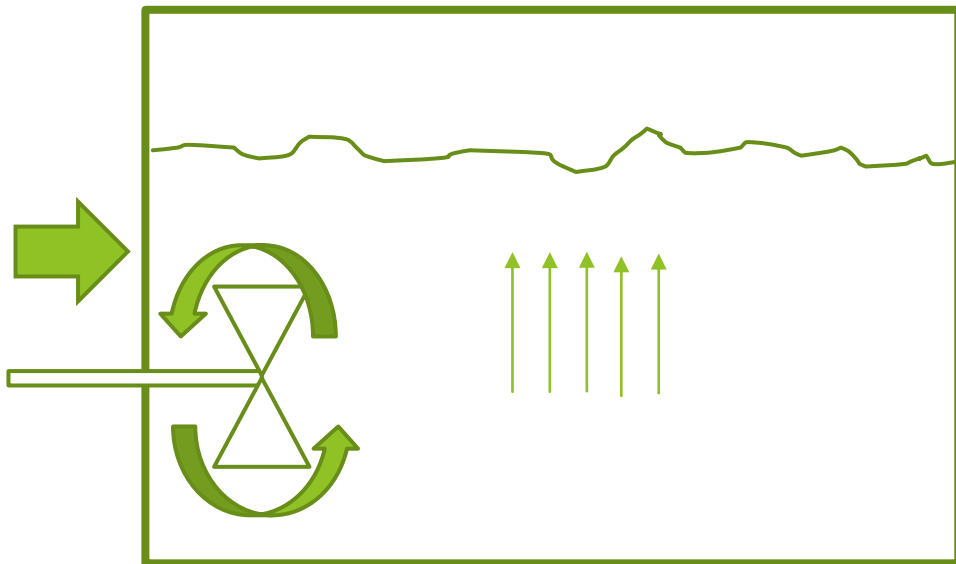
Eftaxias et al. (2020) *Bioprocess Biosystems Engineering*

31

Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

5) Περιορισμοί στη μεταφορά μάζας

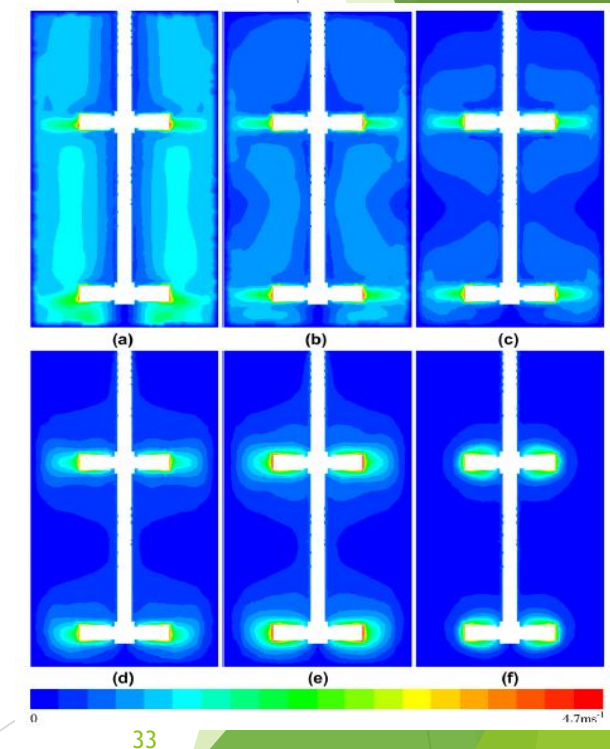
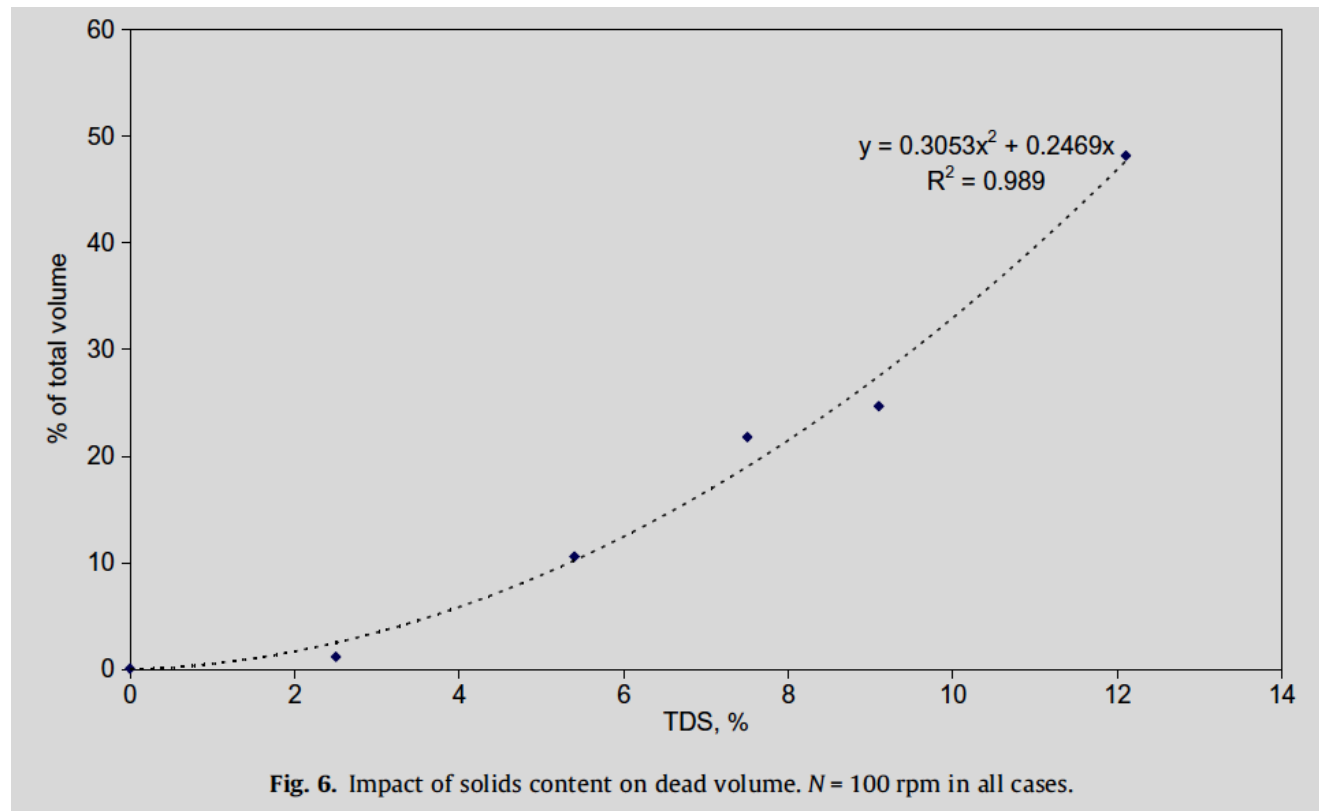
- ▶ Διακεκριμένα σωματίδια
 - ▶ Μεταφορά λόγω της ανάδευσης
 - ▶ Μεταφορά λόγω παραγωγής αερίου
 - ▶ Μεταφορά λόγω επίπλευσης - καθίζησης
 - ▶ Υψηλό ιξώδες – παγίδευση σωματιδίων



Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

5) Περιορισμοί στη μεταφορά μάζας

- Επίδραση της συγκέντρωσης στερεών στο ποσοστό νεκρού όγκου στον βιοαντιδραστήρα

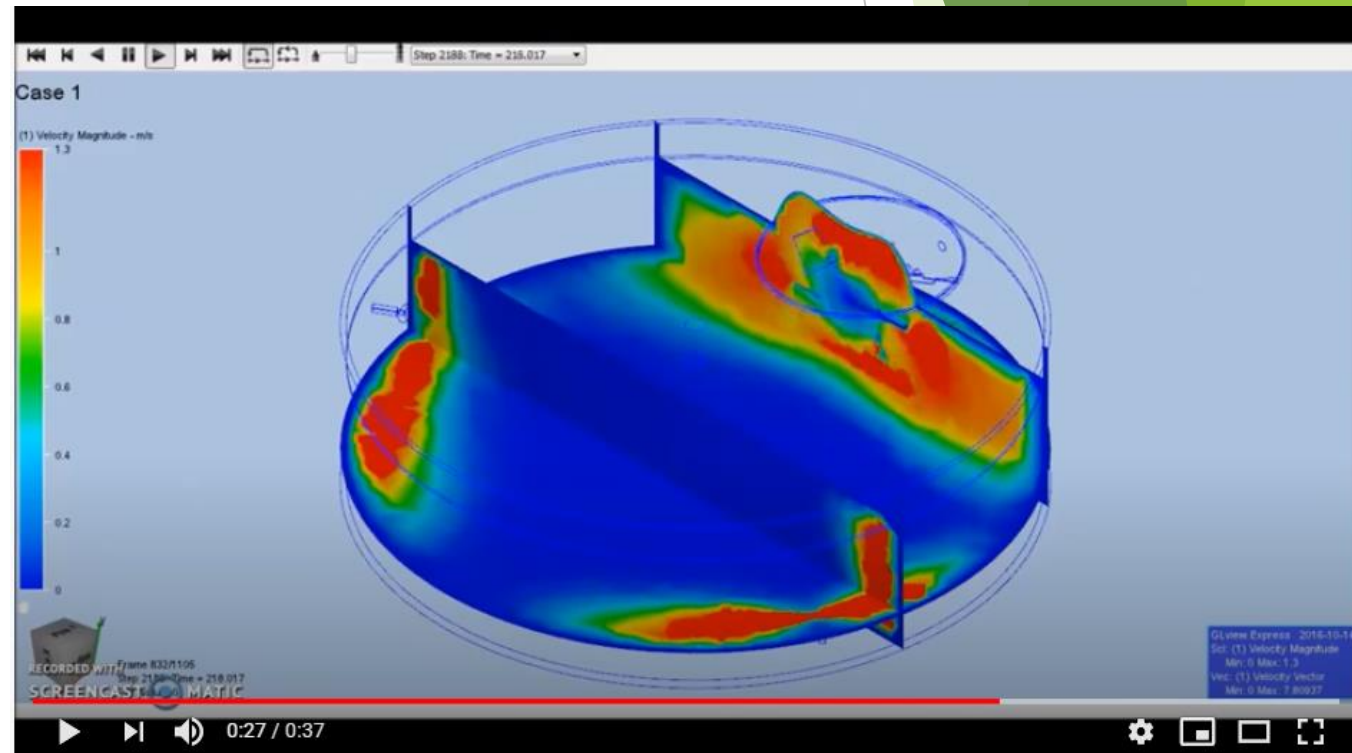
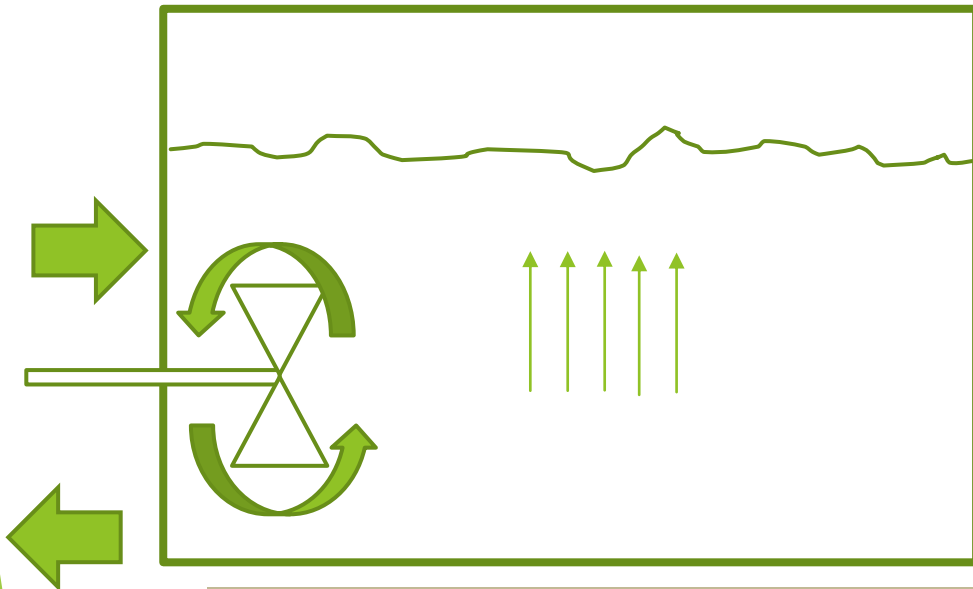


Bridgeman (2012) Advances in Engineering

Πραγματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου:

5) Περιορισμοί στη μεταφορά μάζας

- ▶ Υψηλές συγκεντρώσεις στερεών
- ▶ Νεκροί όγκοι αντιδραστήρα
- ▶ Αστοχία συστημάτων ανάδευσης
- ▶ Βραχυκυκλώματα στη ροή



[Biogas Fermenter mixing - CFD simulation](#)

Ανακεφαλαίωση

- ▶ Βασικοί τύποι υποστρωμάτων
 - ▶ Υδατάνθρακες
 - ▶ Πρωτεΐνες
 - ▶ Λίπη/ έλαια
- ▶ Θεωρητική απόδοση βιοαερίου
- ▶ Πραγματική απόδοση βιοαερίου
 - ▶ Δομή και μέγεθος σωματιδίων
 - ▶ Σύσταση υποστρώματος
 - ▶ Περιορισμοί στη μεταφορά μάζας

ΑΠΟΡΙΕΣ



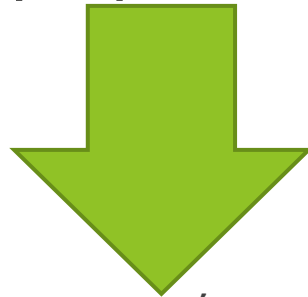
Διάρθρωση παρουσίασης

- ▶ Διατύπωση προβλήματος – Στόχος
- ▶ Εισαγωγή – βιβλιογραφική ανασκόπηση
- ▶ Αποτελέσματα
- ▶ Συμπεράσματα/ Καινοτομία

Διατύπωση του προβλήματος

Η αναερόβια αποικοδόμηση λιπών και ελαίων (FOG) υπόκειται:

1. Σε τεχνικά και λειτουργικά προβλήματα ως προς την διαχείριση της λιπαρής φάσης (διφασικό σύστημα).
2. Σε θερμοδυναμικούς περιορισμούς των βιολογικών αντιδράσεων.



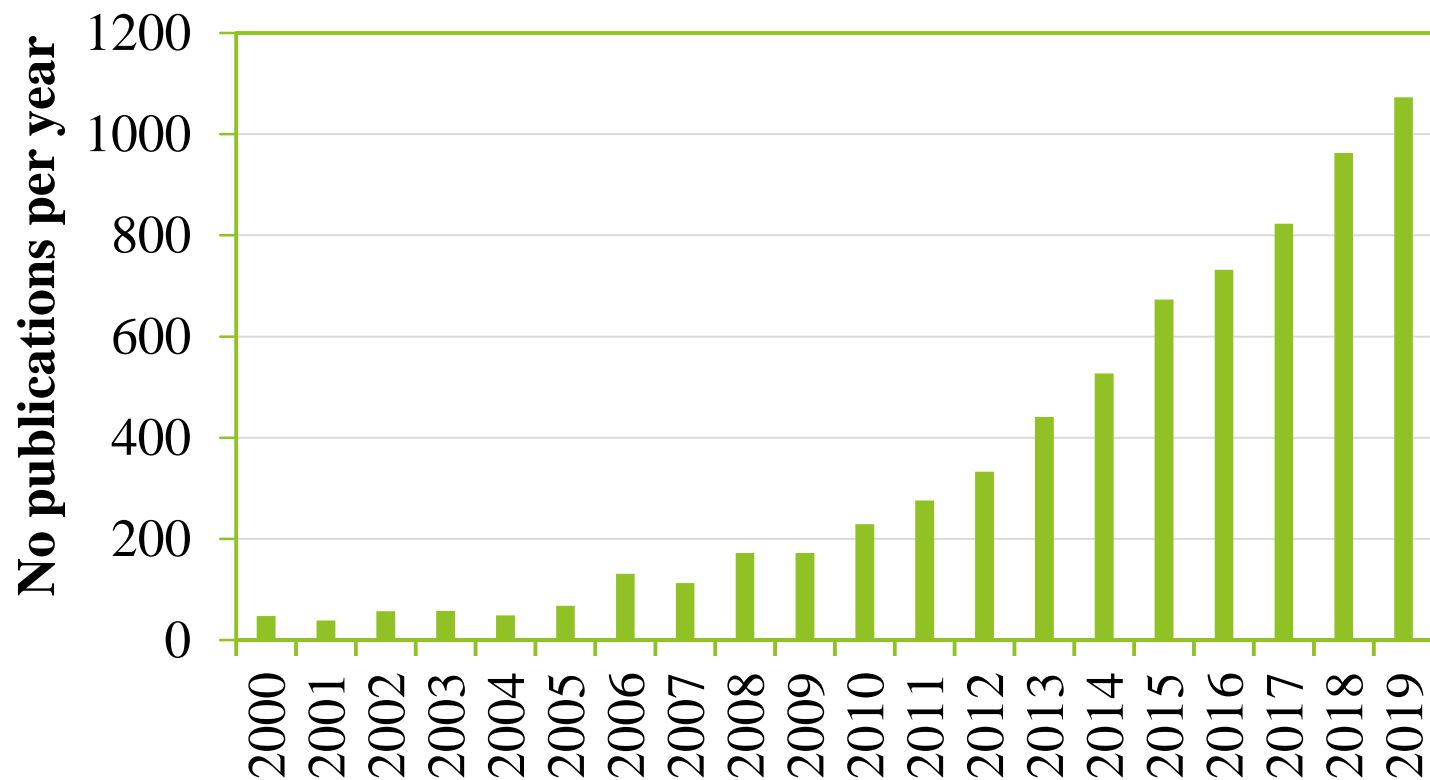
Ως επακόλουθο η χρήση λιπών και ελαίων σε εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου αποφεύγεται ή είναι περιορισμένη σε χαμηλές φορτίσεις και με μικρό ποσοστό λίπους στην τροφοδοσία.

Οργανικό φορτίο λιπών/ελαίων (FOG)

- ▶ Τα λιπή χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό περιεχόμενο και μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων βιοαερίου.

2.9 g COD / g VS

1.4 L biogas / g VS



- ▶ Συνεχής αύξηση ενδιαφέροντος της :



Στόχος Διδακτορικής Διατριβής

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης διεργασίας αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα σε λίπη/έλαια.

► Διερεύνηση και βελτιστοποίηση κατάλληλης διεργασίας προ-επεξεργασίας λιπών/ελαία για **περιορισμό των λειτουργικών προβλημάτων.**

► Διερεύνηση και βελτιστοποίηση **κατάλληλου τύπου αντιδραστήρα** για την διαχείριση αποβλήτων υψηλής περιεκτικότητας σε λίπη/ έλαια.

Προέλευση λιπών και ελαίων

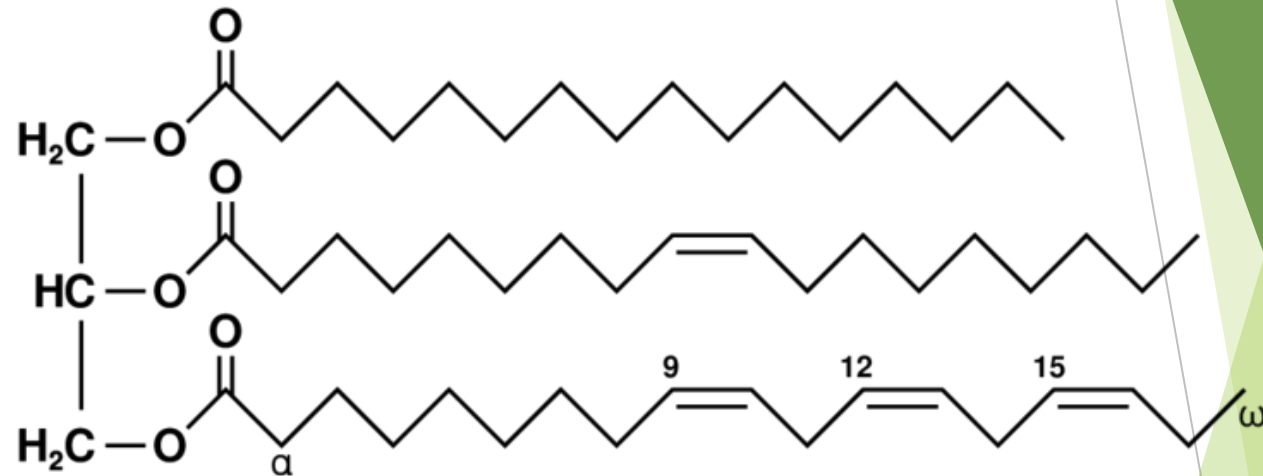
- ▶ Φυτικά έλαια και ζωικά λίπη (FOG)
- ▶ Οικιακή, αγροτική και βιομηχανική προέλευση



Κωδικός ΕΚΑ	Κατηγορία
02 01	Απόβλητα από αγροτική δραστηριότητα
02 02	Απόβλητα από προετοιμασία και επεξεργασία κρέατος, ψαριών και άλλα τρόφιμα ζωικής προέλευσης
02 03	Απόβλητα από φρούτα και λαχανικά
02 05	Απόβλητα από βιομηχανίες τυροκόμησης
02 06	Απόβλητα από βιομηχανίες παραγωγής αρτοσκευασμάτων
04 01	Απόβλητα από βιομηχανίες επεξεργασίας δερμάτων
19 08	Απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων
19 08 09	Λίπη και μίγματα ελαίων από διαχωρισμό χρησιμοποιημένων φυτικών ελαίων και λιπών
20 01 25	Χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια και λίπη
20 02 04	Λίπη από επεξεργασμένα δεξμενά...

Σύσταση λιπών και ελαίων

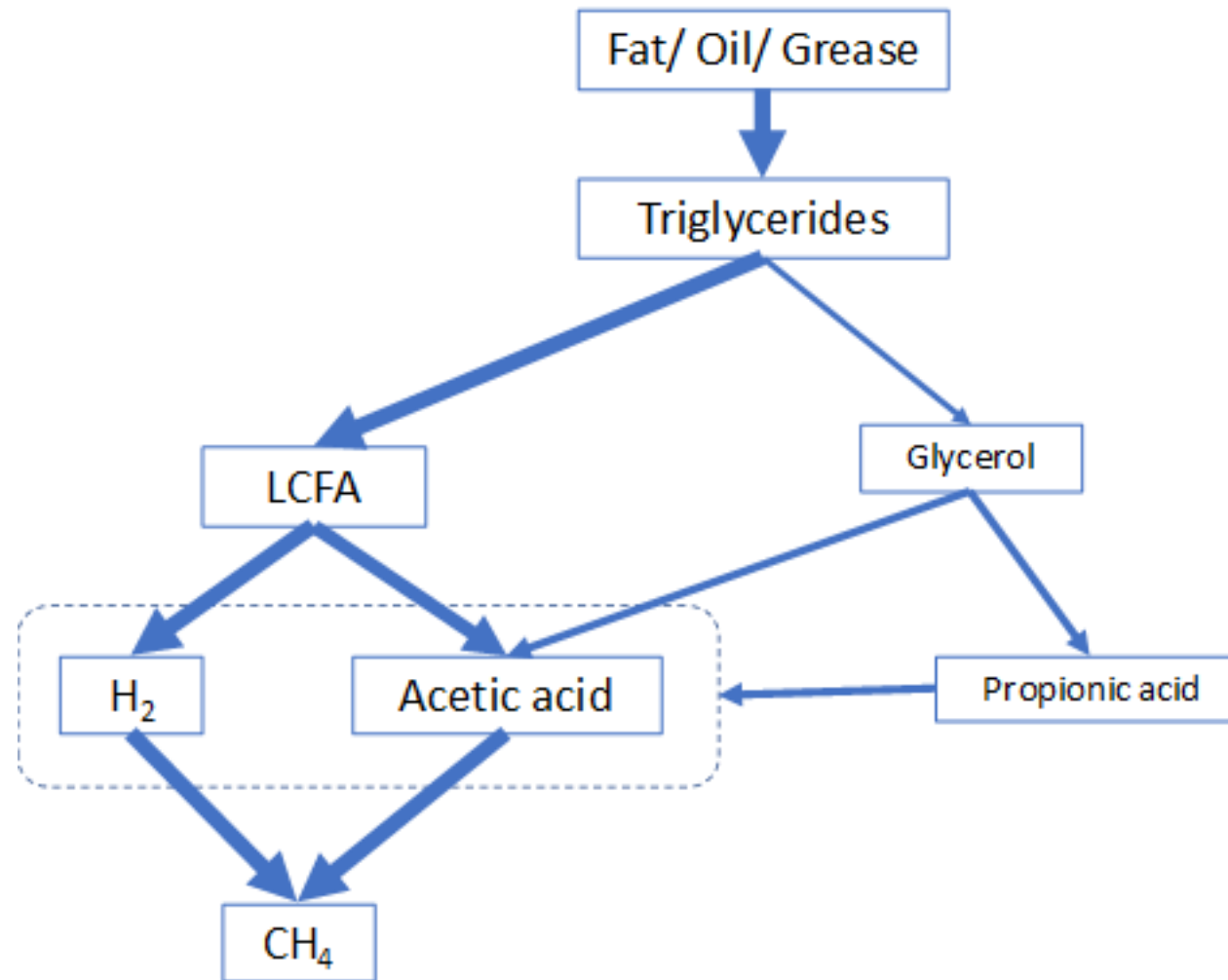
- ▶ Τα λίπη/έλαια αποτελούνται από λιπαρά οξέα μεγάλης αλυσίδας (LCFA) με γλυκερόλη.



- ▶ Τα κυριότερα LCFA είναι:

- Ελαϊκό οξύ: C18:1
- Παλμιτικό οξύ: C16:0
- Στεαρικό οξύ: C18:0

Αναερόβια αποικοδόμηση λιπών και ελαίων



Παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη και λειτουργία των μεθανιογόνων

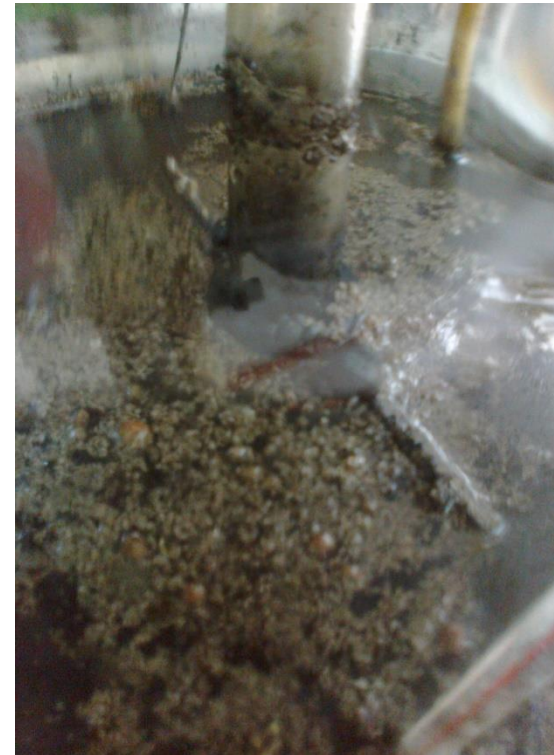
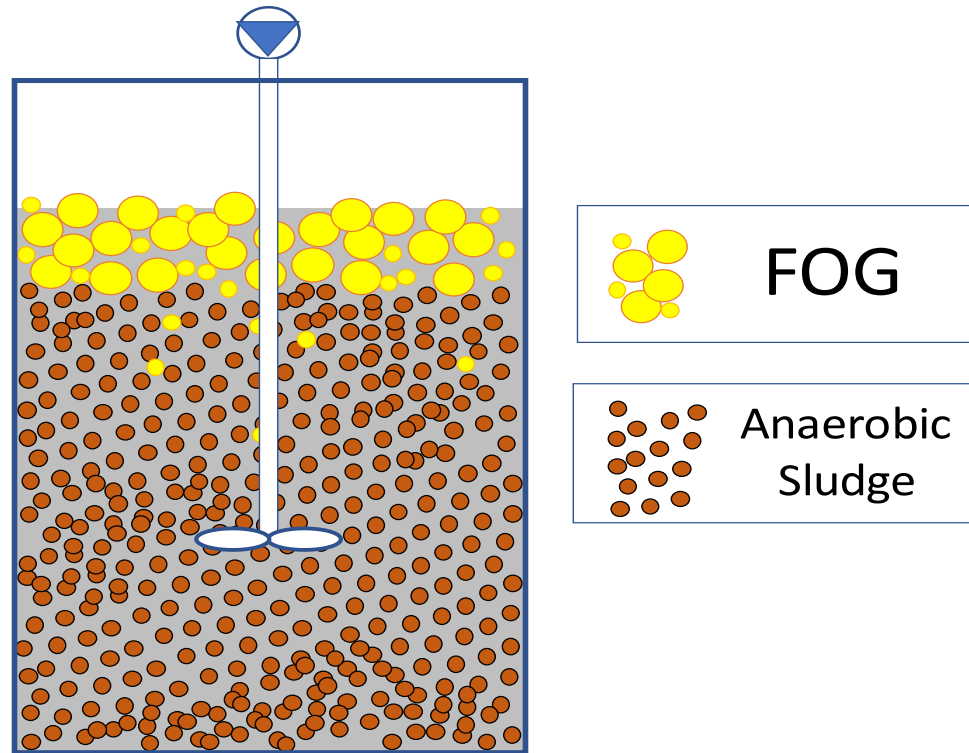
- ▶ Μακρό και μικρο-θρεπτικά (Ιχνοστοιχεία),
- ▶ θερμοκρασία,
- ▶ pH,
- ▶ αλατότητα,
- ▶ ελεύθερη αμμωνία, θειούχα, τοξικά συστατικά

Προβλήματα κατά την βιολογική αποικοδόμηση λιπών και ελαίων

- ▶ Επίπλευση λιπών και ελαίων σε επίπεδο αντιδραστήρα.
- ▶ Περιορισμοί στη μεταφορά μάζας σε επίπεδο αναερόβιας βιομάζας.
- ▶ Τοξικότητα λιπαρών οξέων μεγάλης αλυσίδας.
- ▶ Αφρισμός και επίπλευση βιομάζας.

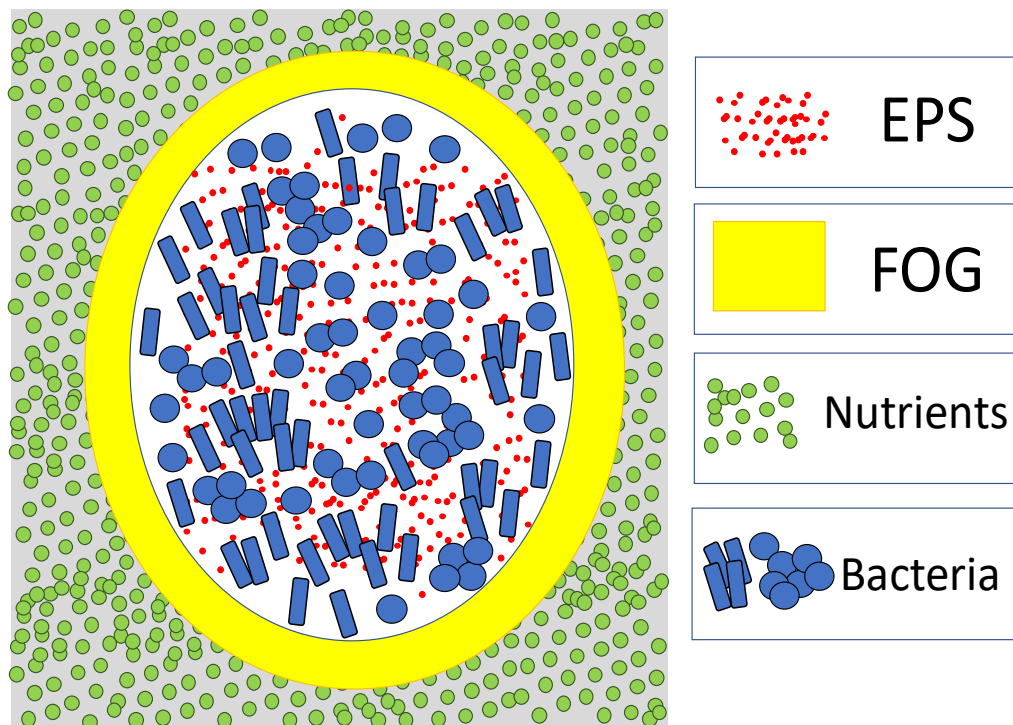
Επίπλευση λιπών και ελαίων σε επίπεδο αντιδραστήρα

- ▶ Αίτιο: χαμηλή πυκνότητα και διαλυτότητα
- ▶ Επίδραση: Χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα και χαμηλή ανάκτηση βιοαερίου
- ▶ Αντιμετώπιση: Προ-επεξεργασία λιπών και ελαίων



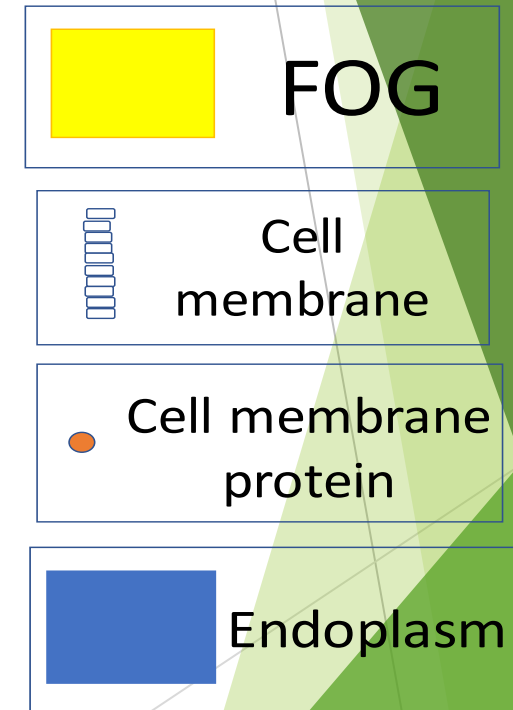
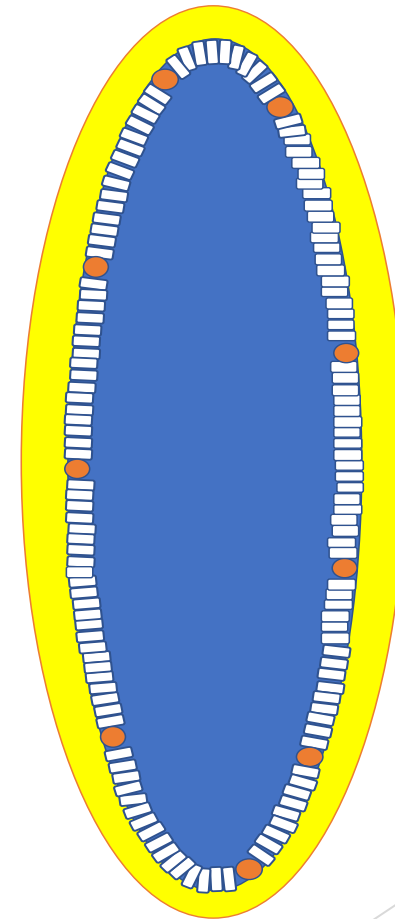
Περιορισμοί στη μεταφορά μάζας σε επίπεδο αναερόβιας βιομάζας

- ▶ Αίτιο: ικανότητα προσρόφησης λιπών στην αναερόβια βιομάζα
- ▶ Επίδραση: Περιορισμός στη μεταφορά υποστρώματος και θρεπτικών μέσα στο φλόκο
- ▶ Αντιμετώπιση: Αποικοδόμηση των προσροφημένων λιπών και ελαίων



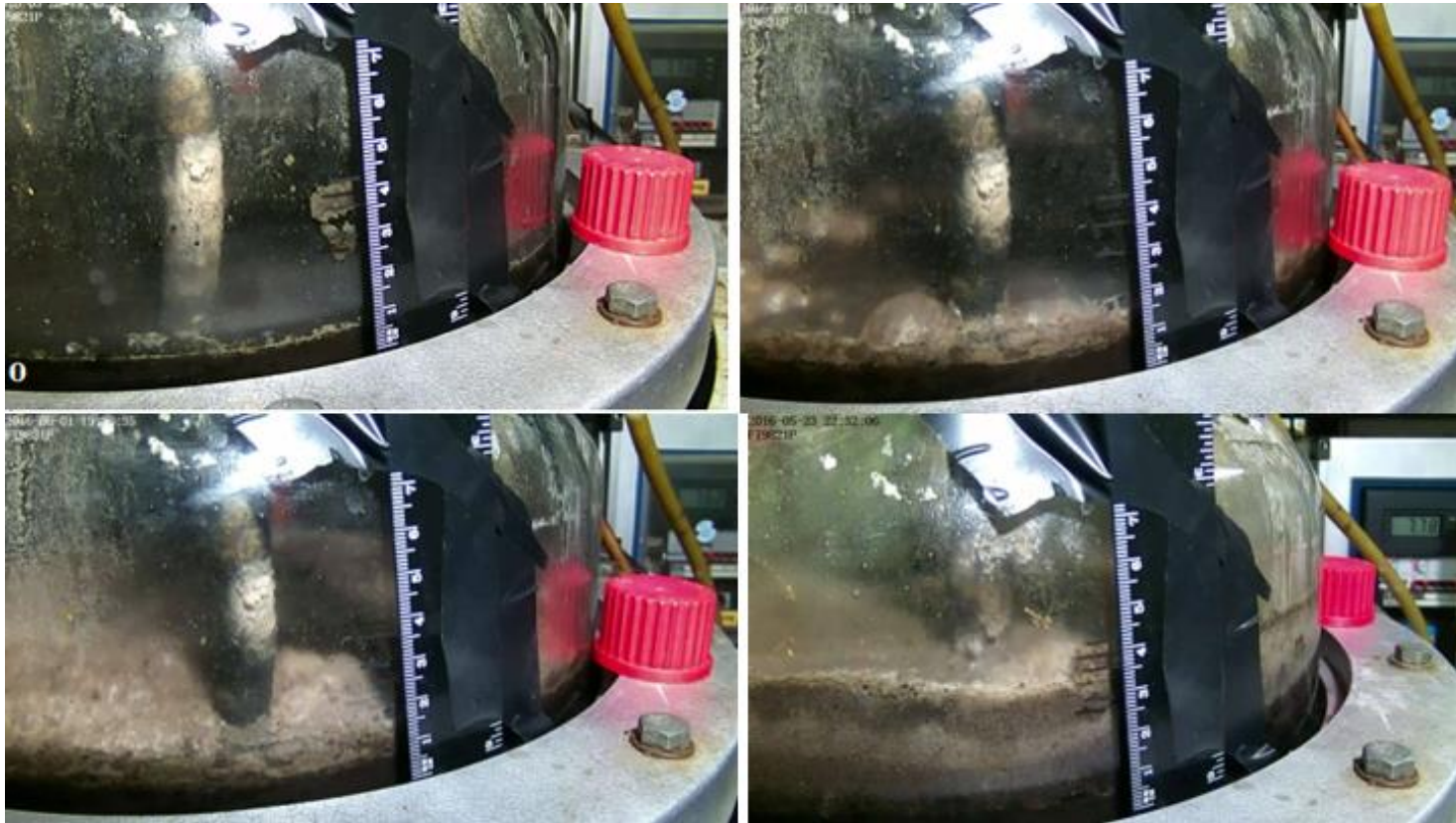
Τοξικότητα λιπαρών οξέων μεγάλης αλυσίδας

- ▶ Αίτιο: Προσρόφηση λιπών και ελαίων στην κυτταρική μεμβράνη
- ▶ Επίδραση: Λύση κυτταρικής μεμβράνης
- ▶ Αποτέλεσμα: Οξεία παρεμπόδιση



Αφρισμός και επίπλευση βιομάζας

- ▶ Αίτιο: Επιφανειοδραστικές ιδιότητες λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας
- ▶ Επίδραση: Ξέπλυμα και απώλεια ενεργού βιομάζας από τον αντιδραστήρα
- ▶ Αποτέλεσμα: Πλήρης κατάρρευση



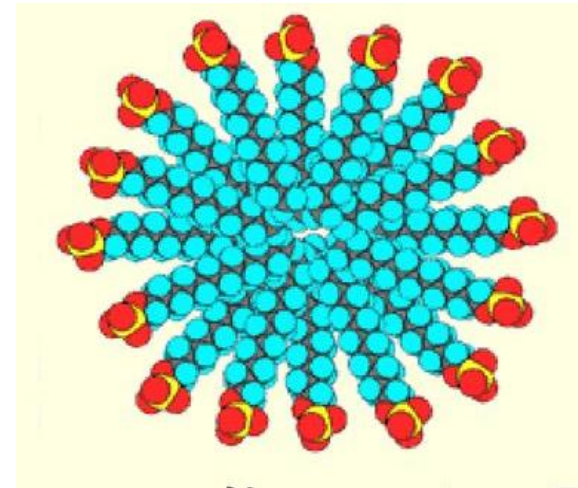
Προ-επεξεργασία λιπών και ελαίων

- ▶ Χημικές διεργασίες – Σαπωνοποίηση
- ▶ Βιολογικές διεργασίες - Ενζυματική υδρόλυση

Προ-επεξεργασία λιπών και ελαίων

Χημικές διεργασίες - Σαπωνοποίηση

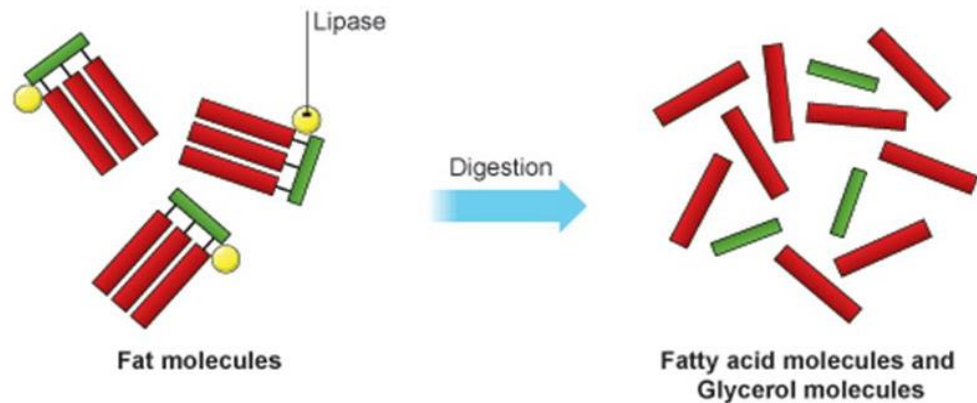
- ▶ Δημοφιλής μέθοδος προ-επεξεργασίας (προηγούμενες μελέτες)
- + Απελευθέρωση LCFA ως άλατα του νατρίου
- + Αυξημένη διαλυτότητα λιπών και LCFA
- Επιφανειοδραστικές ιδιότητες των αλάτων LCFA
- Προκαλούν λύση των κυττάρων σε χαμηλές συγκεντρώσεις
- Υψηλό pH του παραγόμενου διαλύματος (>10)
- Κόστος χημικών (καυστικό νάτριο)



Προ-επεξεργασία λιπών και ελαίων

Βιολογικές διεργασίες - Ενζυματική υδρόλυση (Ένζυμα: Λιπάσες)

- ▶ Υδρόλυση λιπών προς λιπαρά οξέα και γλυκερόλη
- ▶ Η αντίδραση υδρόλυσης πραγματοποιείται στην υδάτινη φάση (διεπιφάνεια)
 - Το μέγεθος των λιπιδίων επηρεάζει το ρυθμό των αντιδράσεων
 - Υψηλό κόστος παραγωγής και προμήθειας των ενζύμων
 - Υψηλή εκλεκτικότητα
 - Απαιτείται μηχανική προ-επεξεργασία



Εισαγωγή - γαλακτωματοποίηση



- ▶ Τεμαχισμός του λιπιδίου σε σωματίδια μεγέθους $\sim \mu\text{m}$
- + Αύξηση διεπιφάνειας λιπιδικής φάσης
- Απαιτείται επιφανειοδραστική ουσία για τη σταθεροποίηση του γαλακτώματος
- Απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας
- Εξειδικευμένος εξοπλισμός με υψηλό κόστος

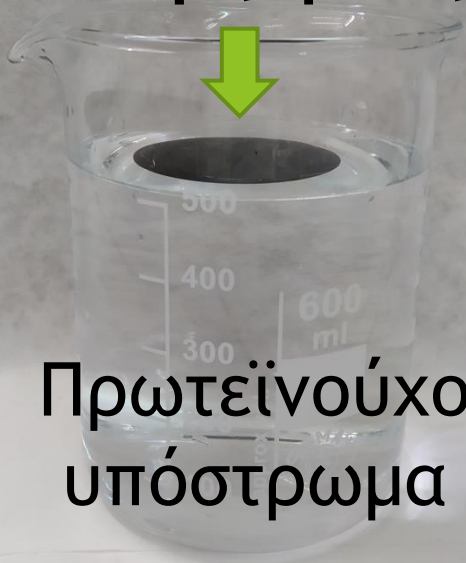
Διαδικασία γαλακτωματοποίησης

- **Βήμα 1:** Προσθήκη λιπαρής φάσης σε πρωτεϊνούχο υπόστρωμα
- **Βήμα 2:** Προσθήκη συσκευής υψηλής ανάδευσης

Λιπαρή φάση

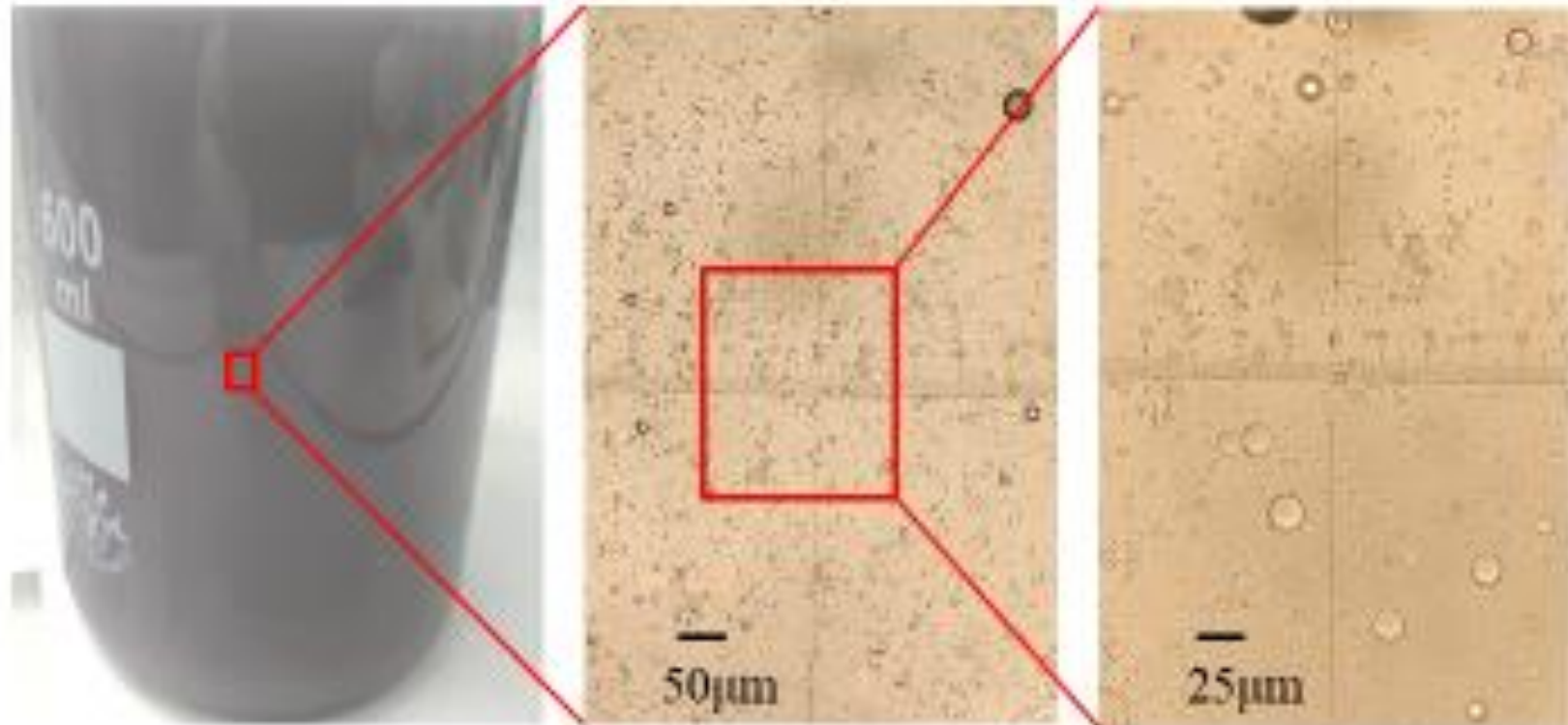
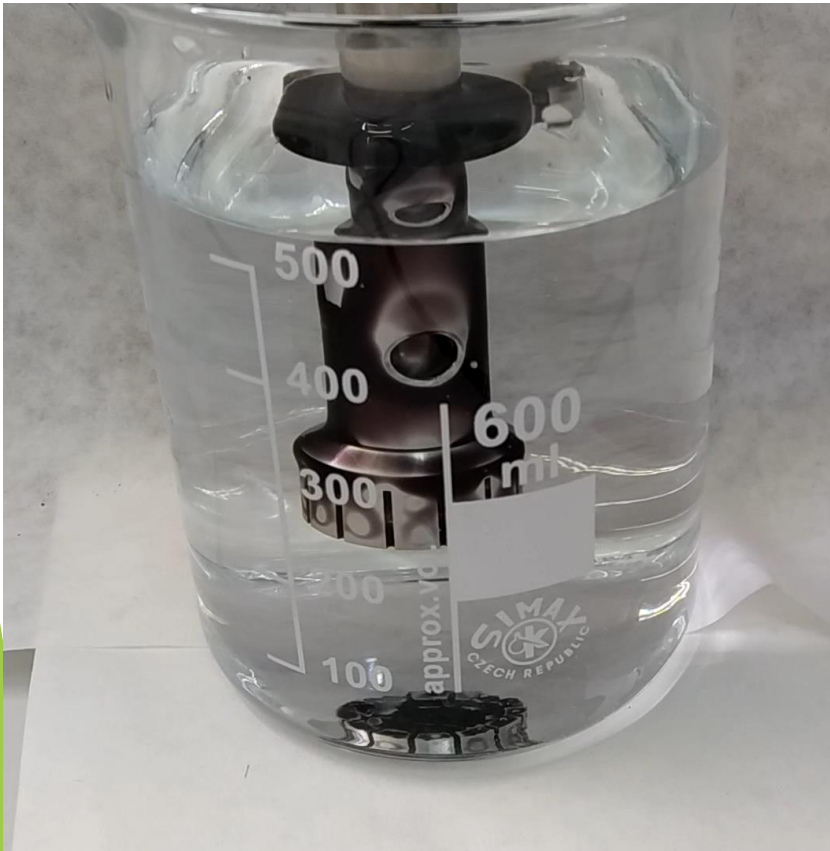


Πρωτεϊνούχο
υπόστρωμα

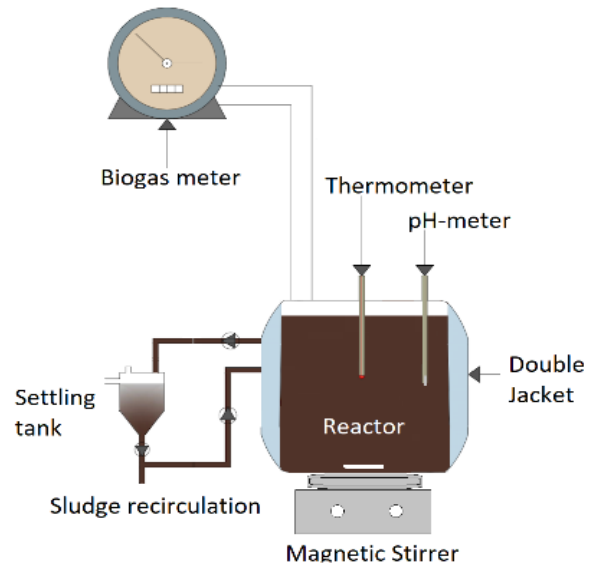


Διαδικασία γαλακτωματοποίησης

- **Βήμα 3:** Διεργασία γαλακτωματοποίησης
- **Βήμα 4:** Δημιουργία γαλακτώματος



Διαδικασία αναερόβιας χώνευσης μιγμάτων



Μη γαλακτωματοποιημένο (αντιδραστήρας 1):
Τροφοδοσία ελαϊκού οξέους και πρωτεΐνης χωριστά

Γαλακτωματοποιημένο (αντιδραστήρας 2):
Τροφοδοσία μίγματος (ελαϊκού οξέους και πρωτεΐνης) που είχε υποστεί γαλακτωματοποίηση

Παράμετροι λειτουργίας	
Τύπος	Contact Process
Όγκος	2 L
Θερμοκρασία	Mesophilic ~ 38 °C
Ανάδευση	100 rpm
Τροφοδοσία	Fed-Batch

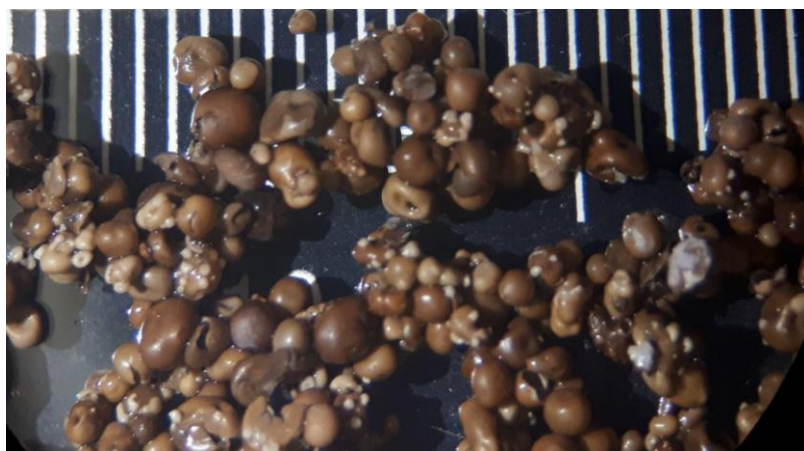
56

Αποτελέσματα

Γαλακτωματοποιημένο



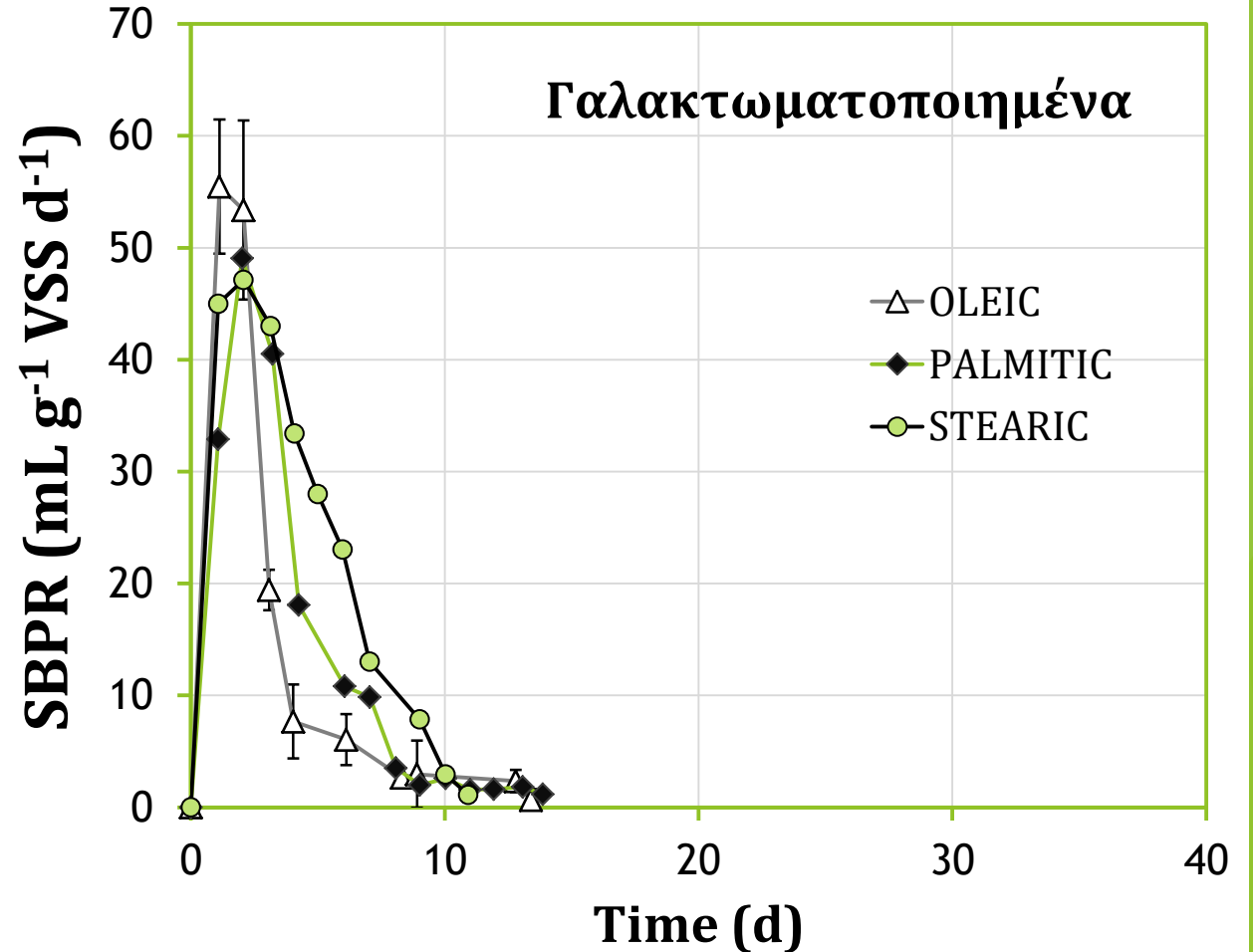
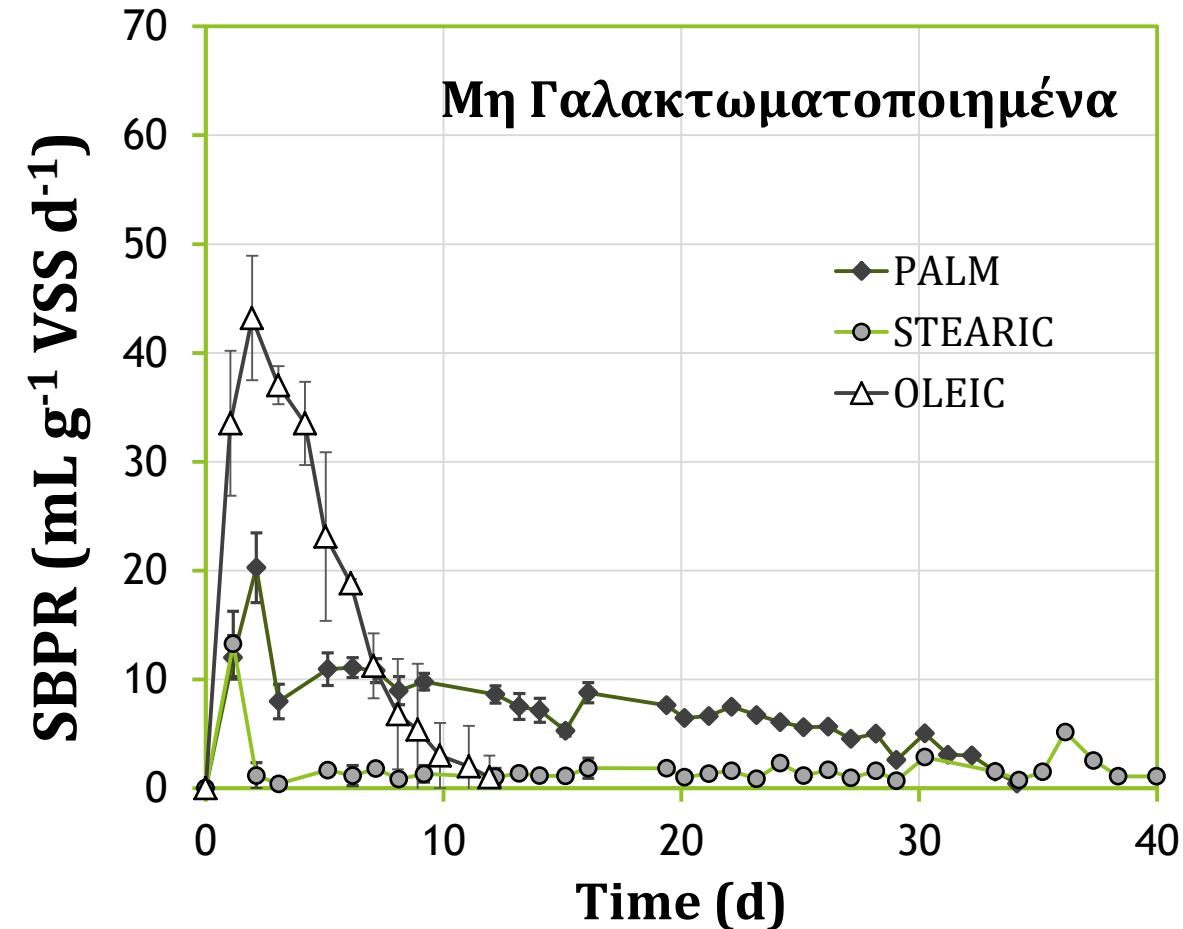
Μη - γαλακτωματοποιημένο



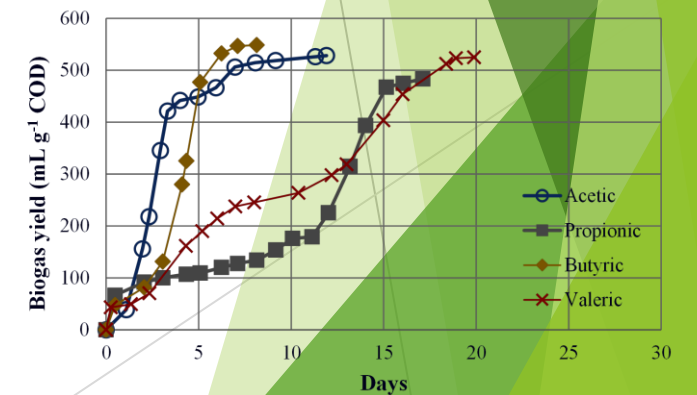
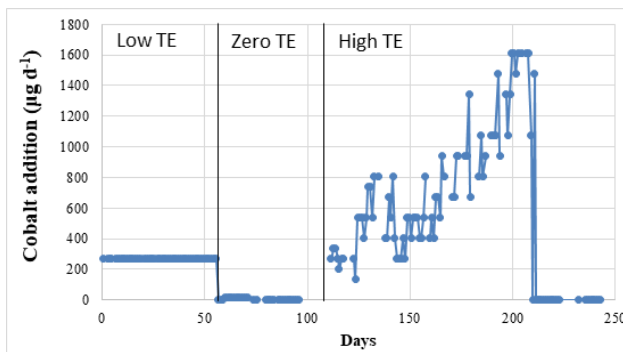
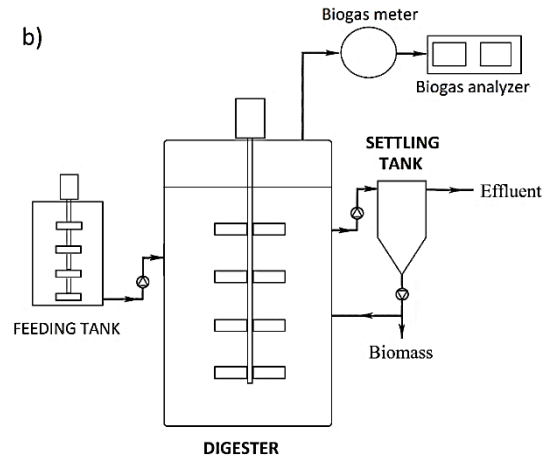
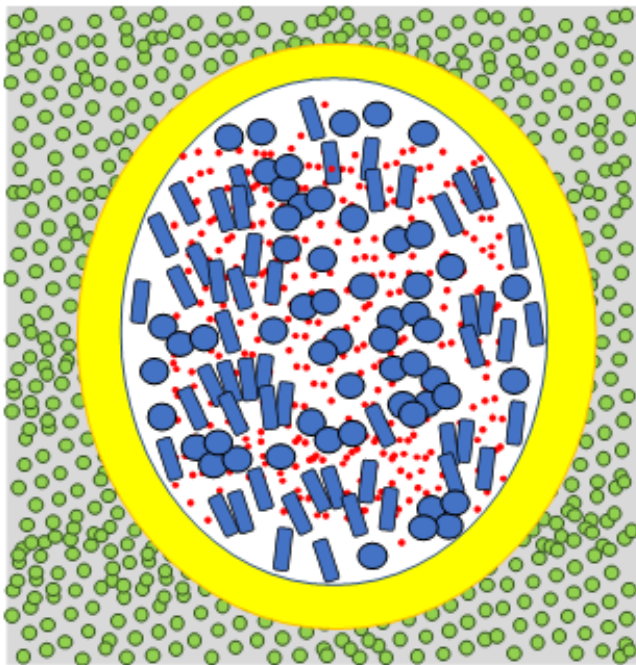
Parameter	mg g ⁻¹ TS
VS	883
FOG	629
PROT	68
Ash	117
Ca	53.5
Co	0.005
Cu	0.029
Fe	1.17
Mg	2.08
Mn	0.047
Mo	0.009
Ni	0.006
K	0.256
Se	0.008
Na	0.753

Αποτελέσματα – Επίδραση γαλακτωματοποίησης

► Ειδικός ρυθμός παραγωγής βιοαερίου (SBPR)



Επίδραση ιχνοστοιχείων στην αναερόβια αποικοδομησιμότητα γαλακτωματοποιημένου ζωικού λίπους

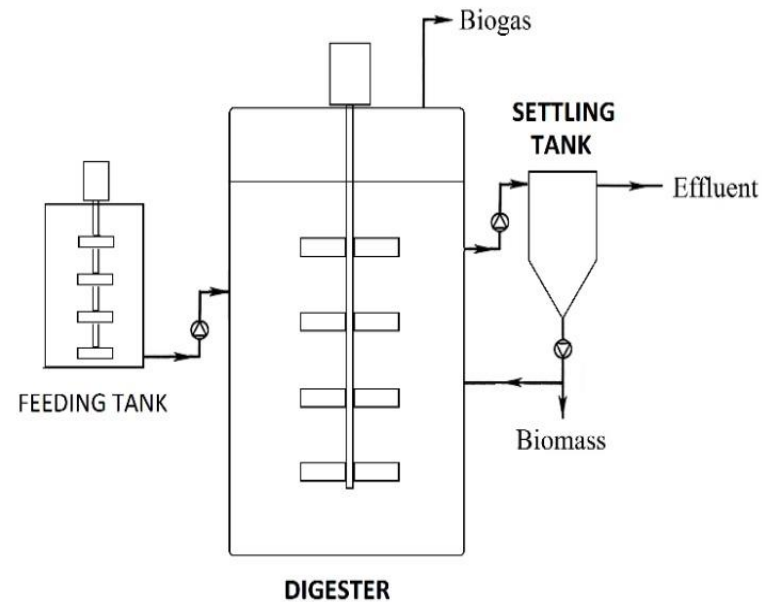


Υλικά και μέθοδοι

Υπόστρωμα: Γαλακτωματοποιημένο ζωικό λίπος

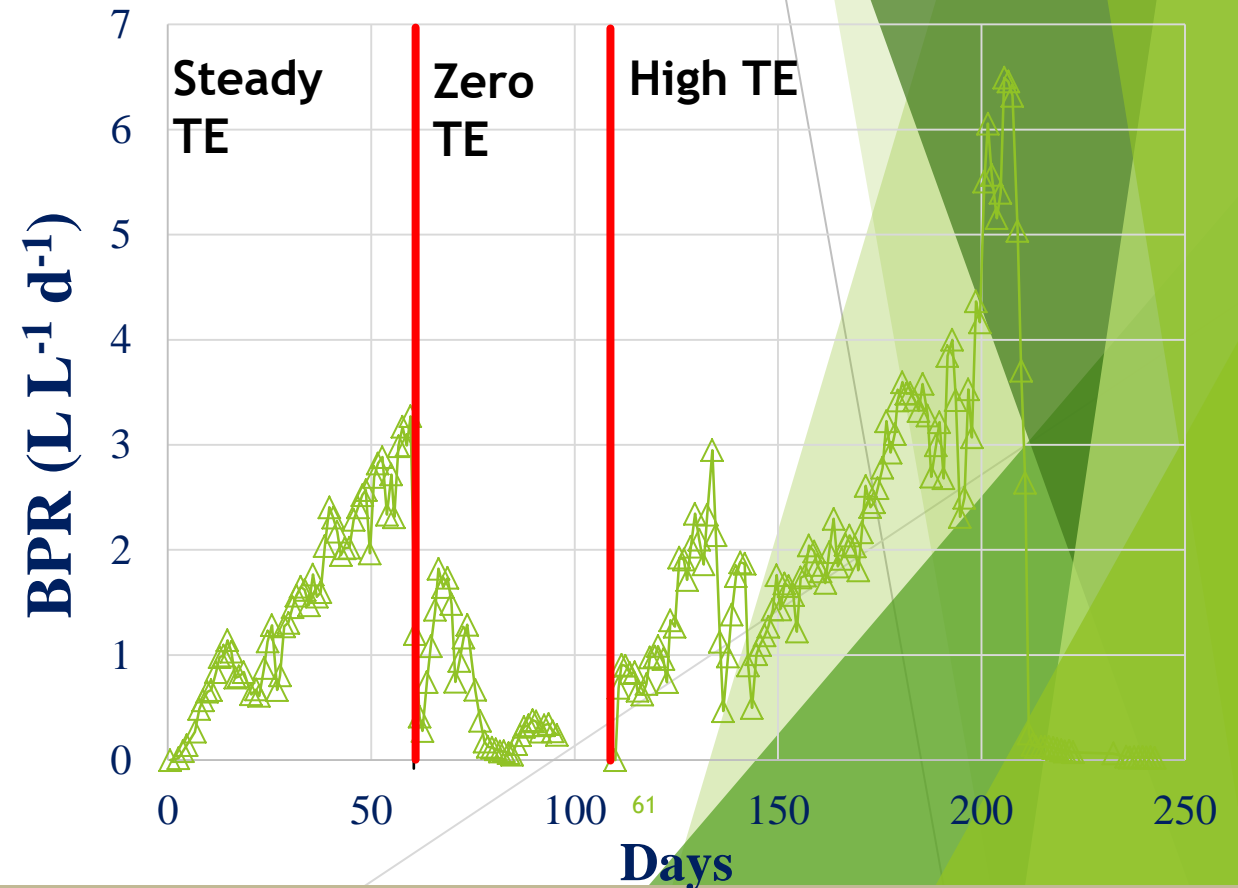
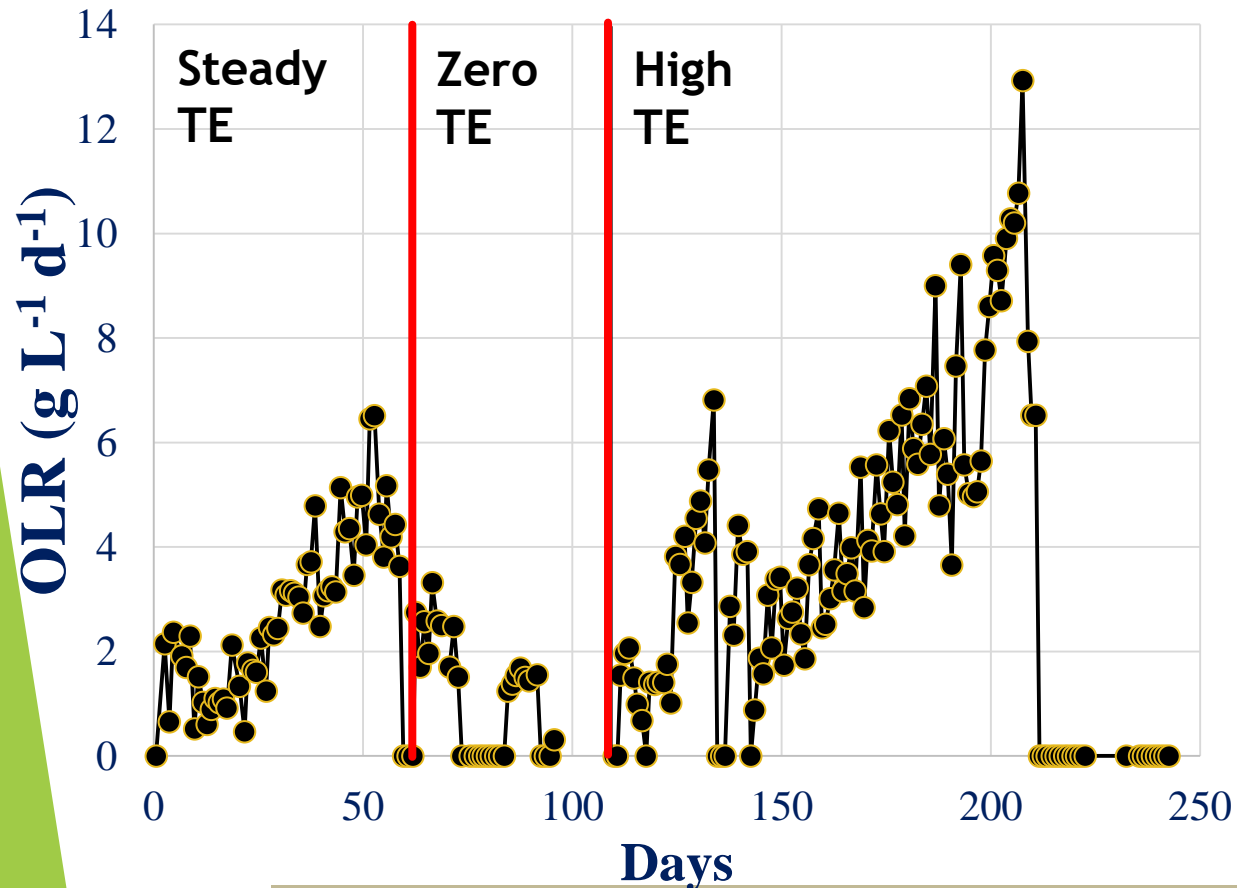
- ▶ Περίοδος I:
 - Σταθερή δόση ιχνοστοιχείων
 - χωρίς προσθήκη ιχνοστοιχείων
- ▶ Περίοδος II: αναλογική δόση ιχνοστοιχείων

Παράμετροι λειτουργίας	
Τύπος	Contact process
Όγκος	42 L
Θερμοκρασία	38 °C
Ανάδευση	40 rpm
Τροφοδοσία	Continuous



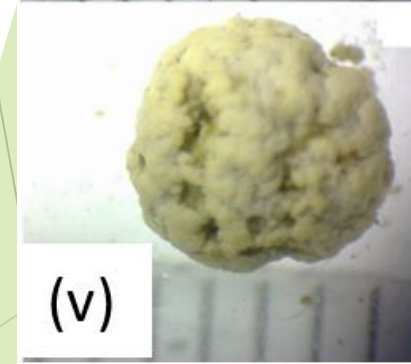
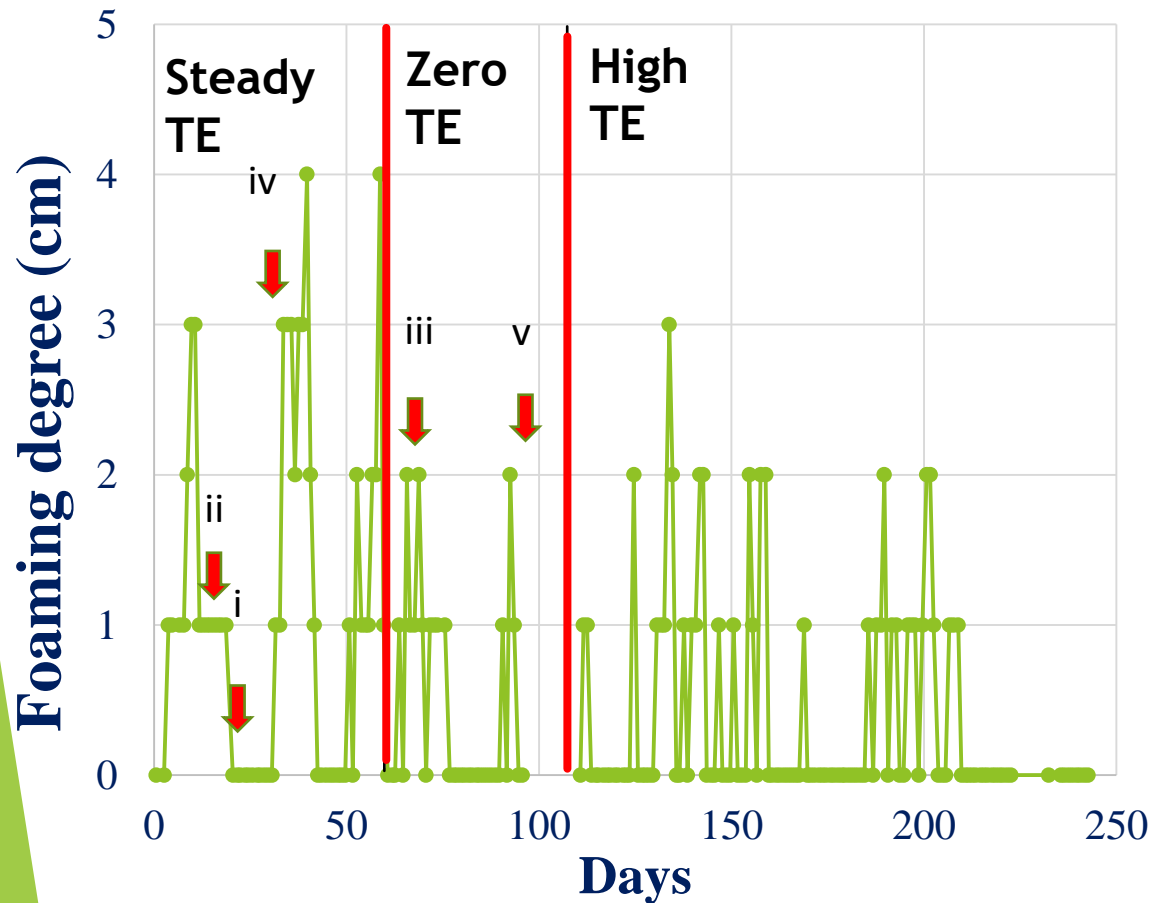
Αποτελέσματα – Συνεχής λειτουργία

- ▶ Ρυθμός οργανικής φόρτισης (OLR)
- ▶ Ρυθμός παραγωγής βιοαερίου (BPR)

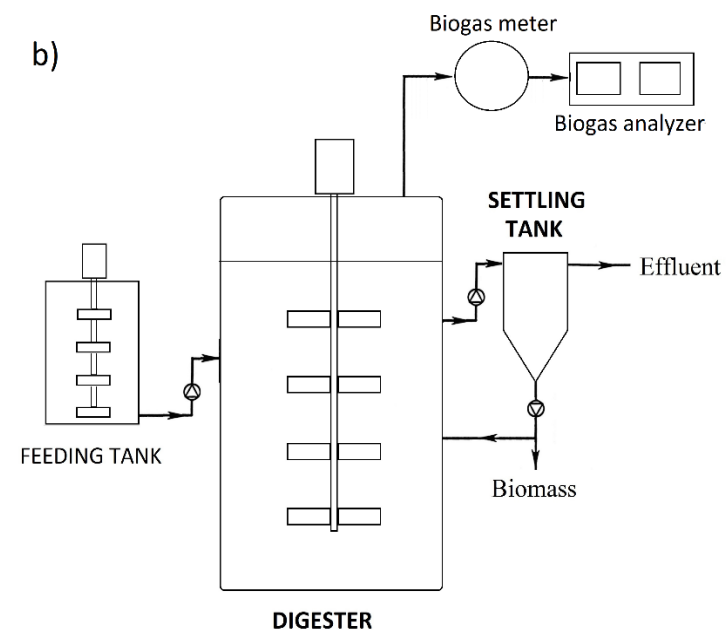
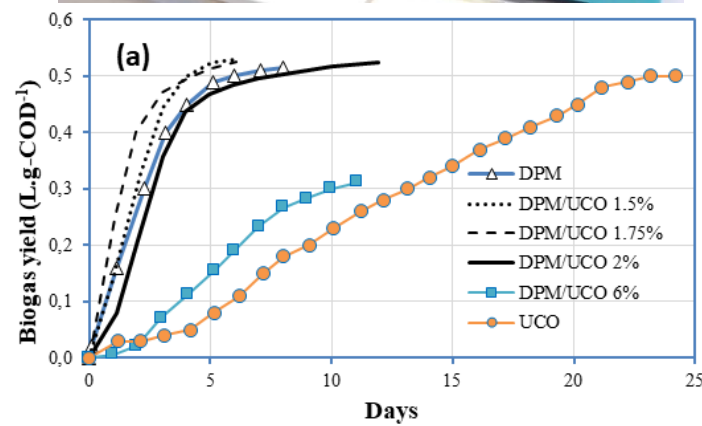
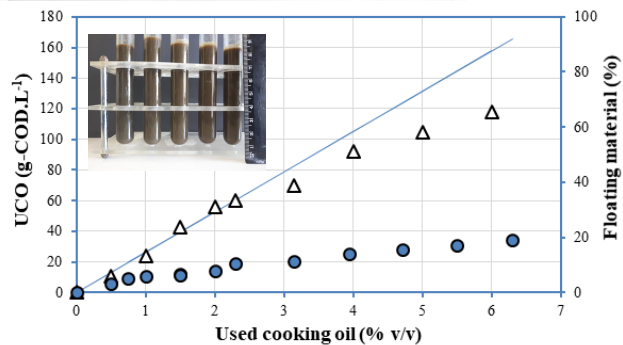


Αποτελέσματα - Συνεχής λειτουργία

► Επίπεδα αφρισμού

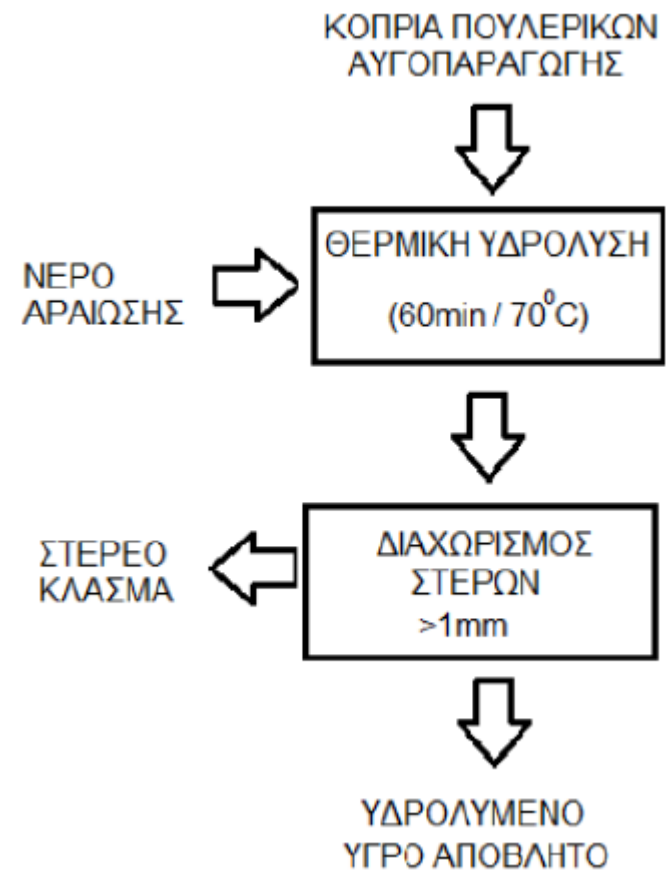
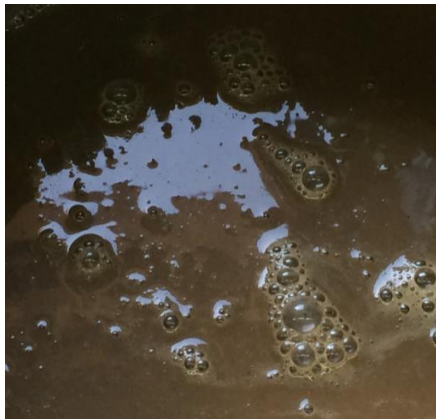


Γαλακτωματοποίηση χρησιμοποιημένων φυτικών ελαίων με θερμικά υδρολυμένη κοπριά πουλερικών



Υλικά και μέθοδοι

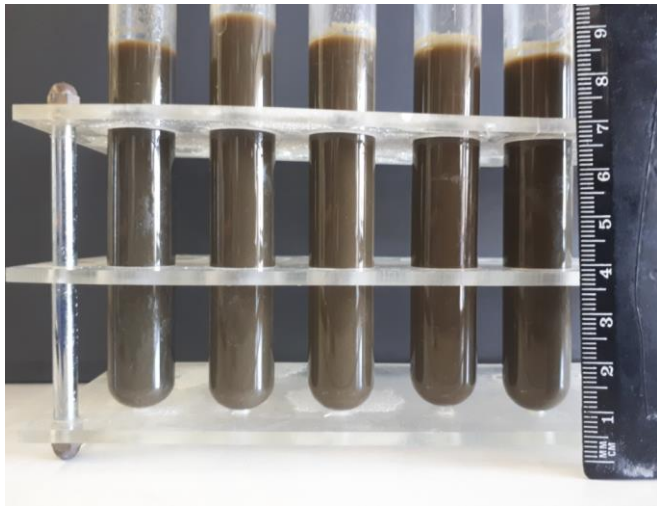
► Προ-επεξεργασία κοπριάς πουλερικών



Υλικά και μέθοδοι

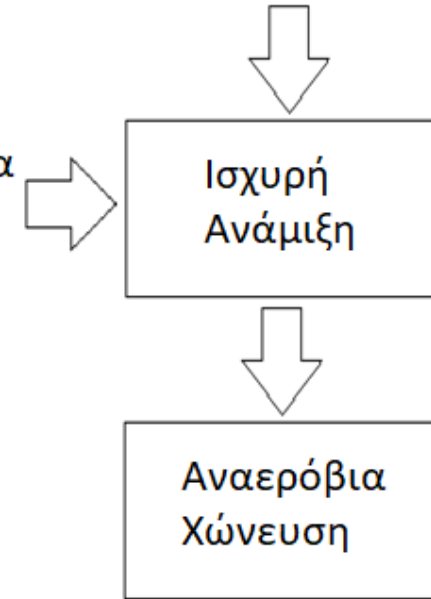
Διαδικασία παρασκευής γαλακτωμάτων

- ▶ Ταχύτητα: 3000 rpm
- ▶ Διάρκεια: 5 min
- ▶ Θερμοκρασία: 60 °C
- ▶ Ποσοστό ελαίων: από 1 έως 6 % (v/v)



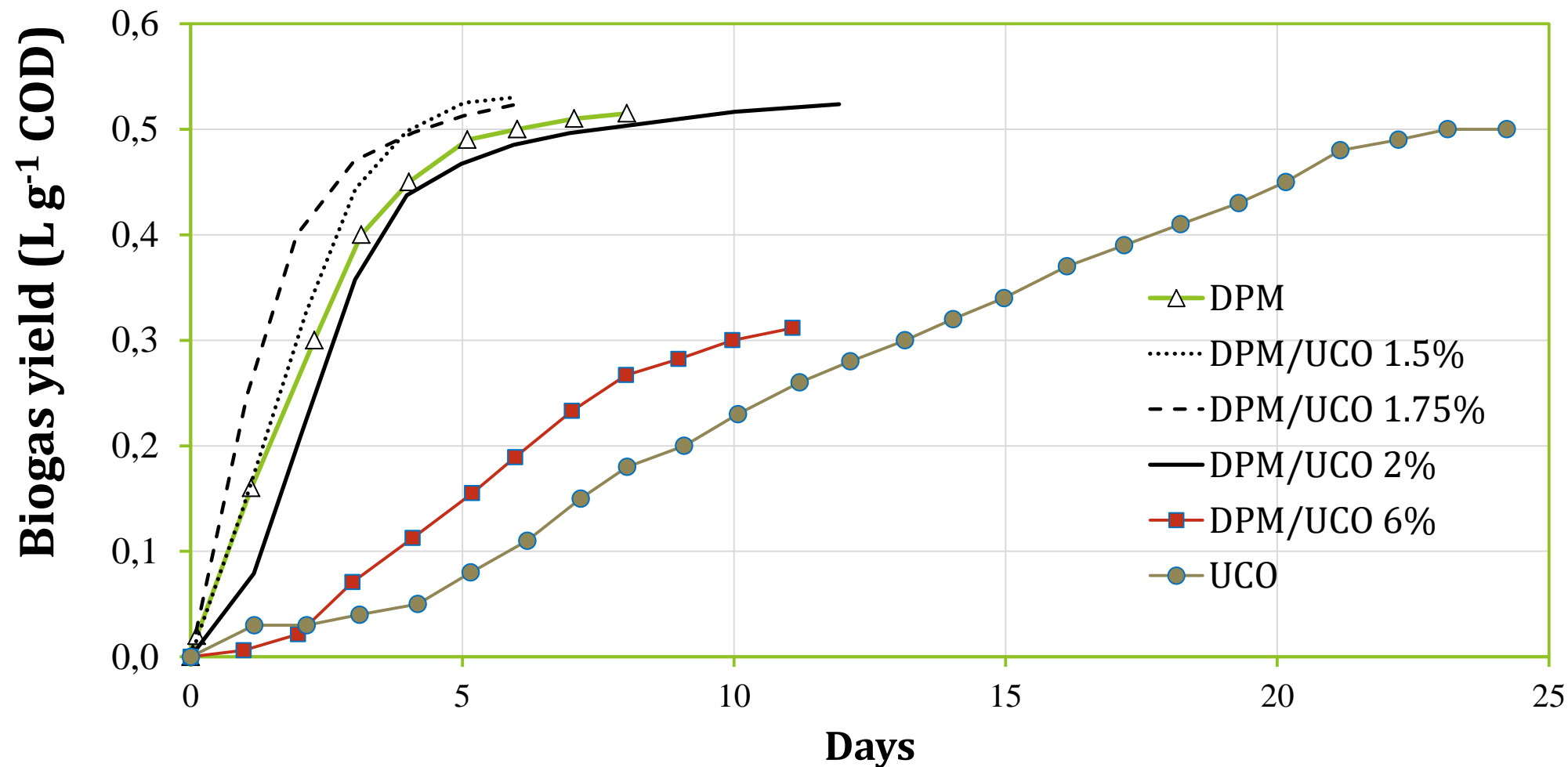
Χρησιμοποιημένα
Φυτικά Έλαια

Υγρό κλάσμα θερμικών
υδρολυμένης κοπριάς
πουλερικών

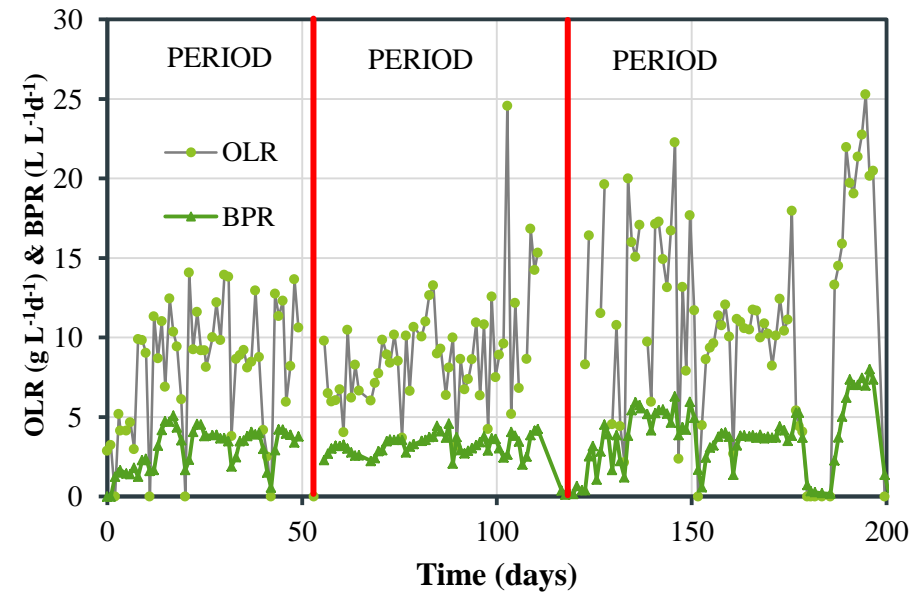
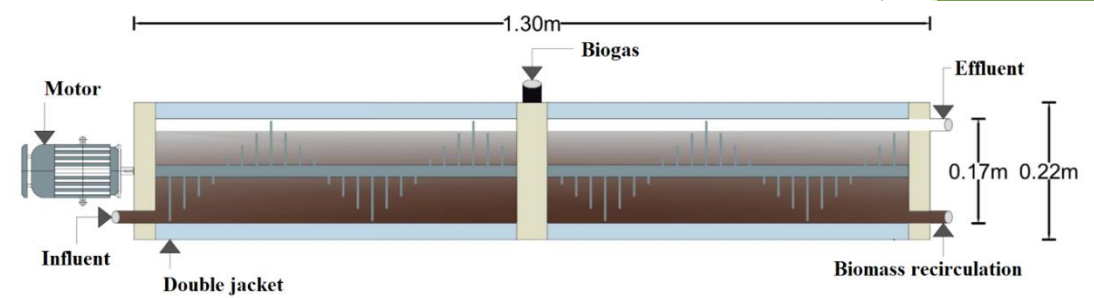


Αποτελέσματα – Διαλείποντος έργου

- ▶ Αθροιστική ανάκτηση βιοαερίου για διαφορετικά ποσοστά ελαίου



Χρήση αντιδραστήρα εμβολικής ροής (PFR) για την αναερόβια χώνευση λιπών/ελαίων



Υλικά και μέθοδοι

► Κύρια υποστρώματα

Χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια γαλακτωματοποιημένα με κοπριά πουλερικών

Ζωικό λίπος γαλακτωματοποιημένο με κοπριά αγελάδας

► Διαδικασία παρασκευής γαλακτωμάτων

Ταχύτητα: 3000 rpm

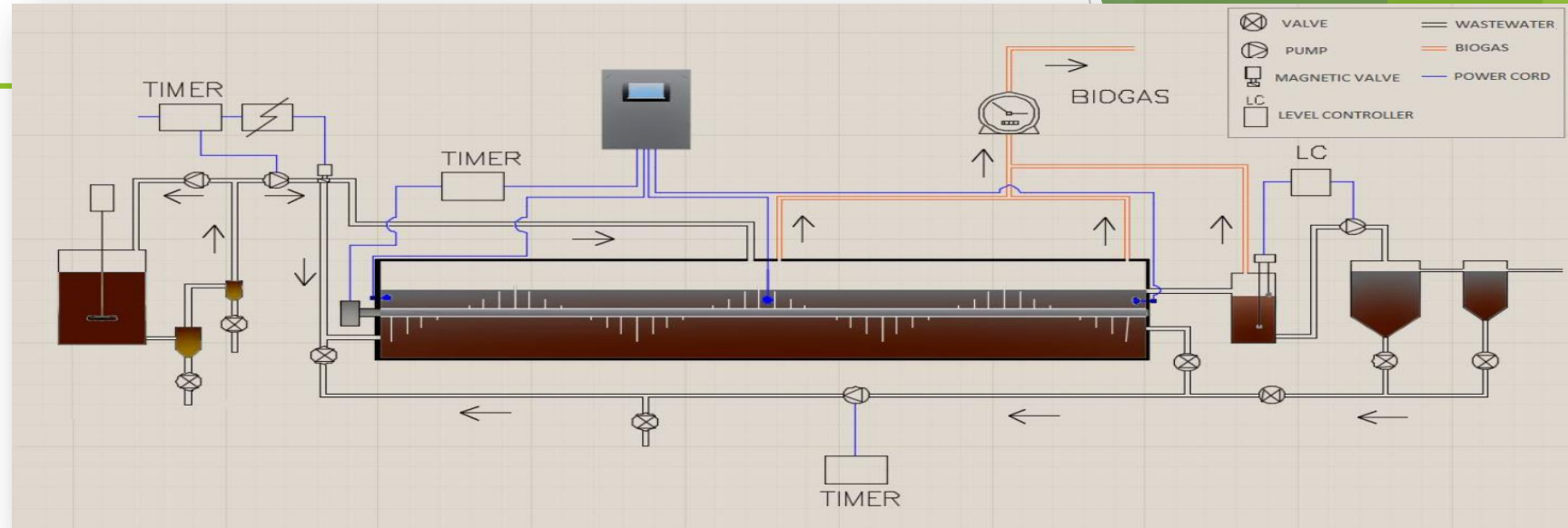
Διάρκεια: 5 min

Θερμοκρασία: 60 °C



Υλικά και μέθοδοι

Σχηματική αναπαράσταση



Πειραματική μονάδα



Υλικά και μέθοδοι

- ▶ Ποσοστά υποστρωμάτων
- ▶ Φυσικοχημικές αναλύσεις

Παράμετρος	Period I	Period II	Period III
Ποσοστά υποστρωμάτων			
DPM (% v/v)	74.0 (± 6.2)	0	0
Dairy manure (% v/v)	0	66.3 (± 7.1)	51.3 (± 6.0)
UCO (% v/v)	0.84 (± 0.32)	0	0
TESW (% v/v)	0	22.5 (± 2.4)	11.3 (± 2.9)
Cheese whey (% v/v)	17.3 (± 4.9)	0	20.8 (± 3.5)
Glycerol (% v/v)	0.52 (± 0.22)	0.59 (± 0.08)	0.52 (± 0.05)
Water (% v/v)	7.3 (± 7.3)	10.6 (± 8.6)	16.0 (± 5.8)
Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά			
pH (-)	6.12 (± 0.31)	7.01 (± 0.47)	5.93 (± 0.55)
EC (mS/cm⁻¹)	19.5 (± 2.0)	12.7 (± 1.5)	11.6 (± 0.9)
COD total (g L⁻¹)	75.7 (± 8.5)	67.7 (± 9.6)	72.5 (± 6.1)
COD centr (g L⁻¹)	41.8 (± 5.1)	25.5 (± 8.1)	27.4 (± 3.4)
TSS (g L⁻¹)	23.4 (± 5.2) ⁷⁰	22.0 (± 4.2)	19.8 (± 5.2)
VSS (g L⁻¹)	21.4 (± 8.7)	21.4 (± 5.8)	16.9 (± 6.6)

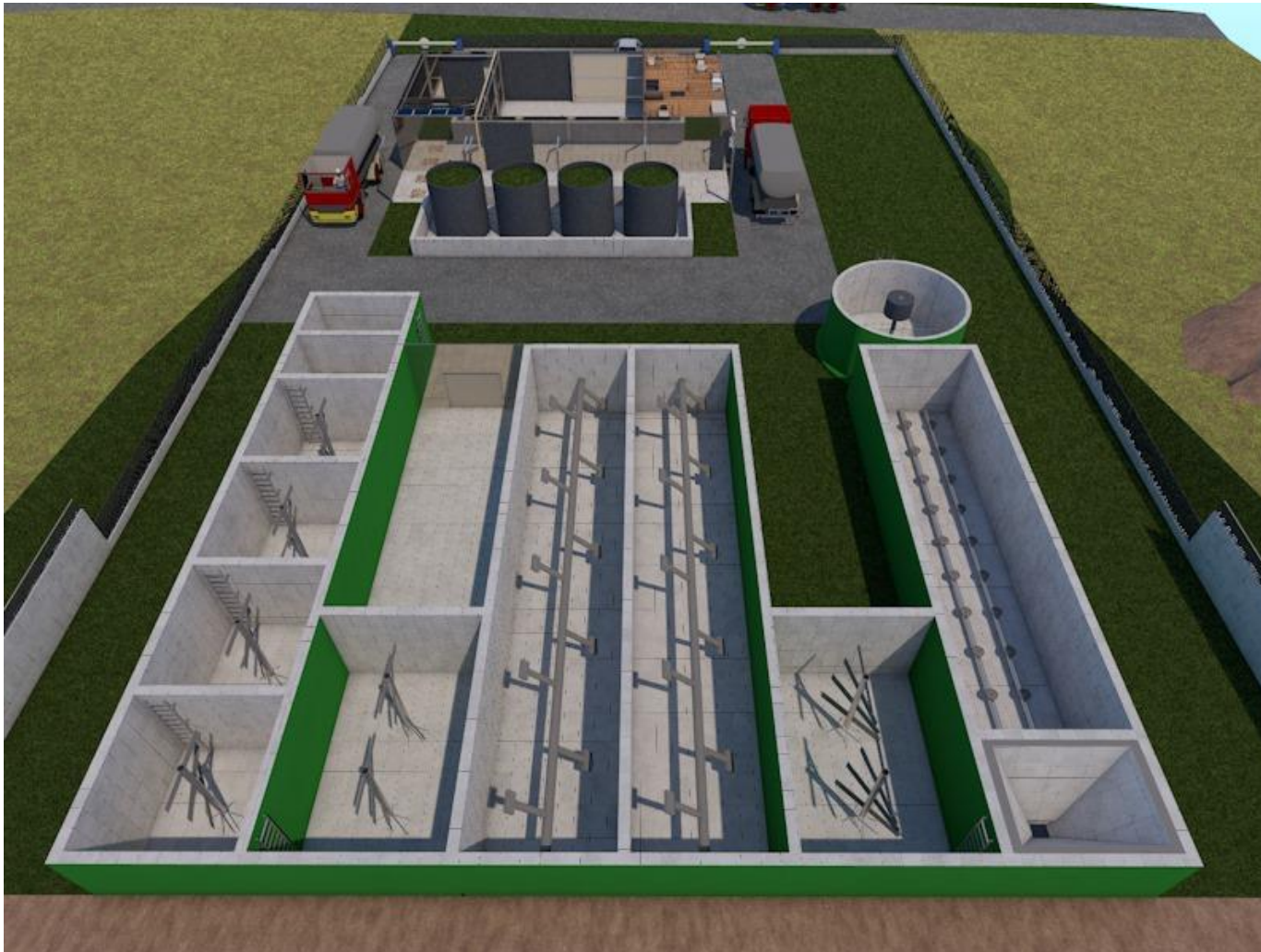
Συμπεράσματα

- ▶ Κλιμάκωση της προαναφερθείσας τεχνολογίας στην πράξη (50m³)

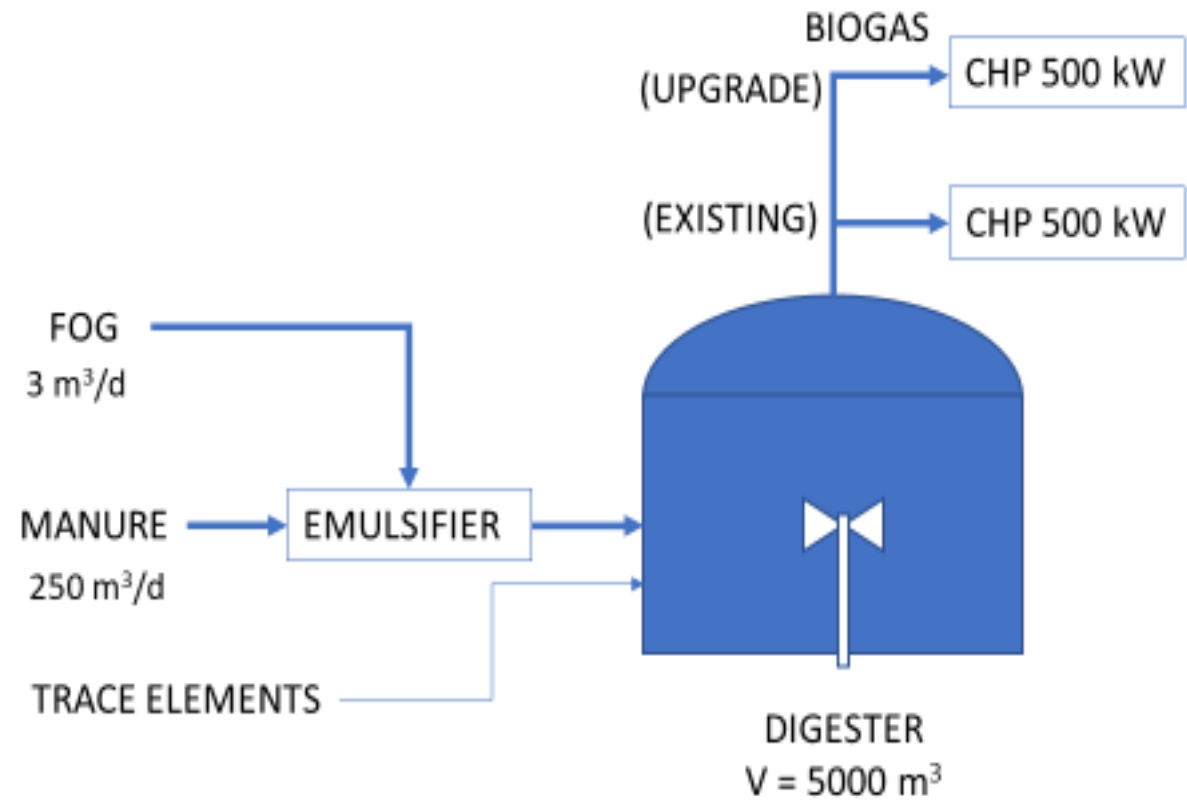
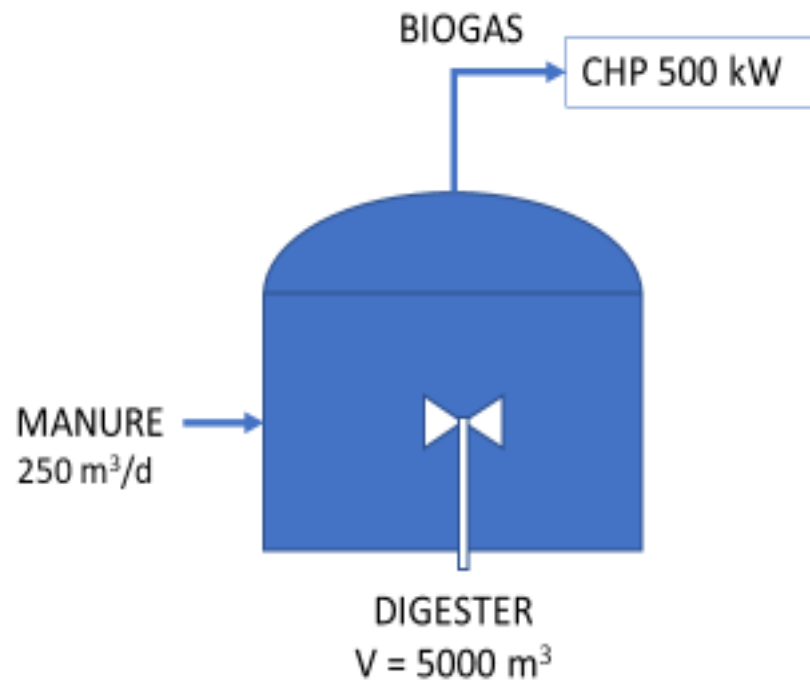


Συμπεράσματα

- ▶ Ενσωμάτωση της προαναφερθείσας τεχνολογίας στην πράξη (240kW-eI, ΒΙ.ΠΕ. Ξάνθης)



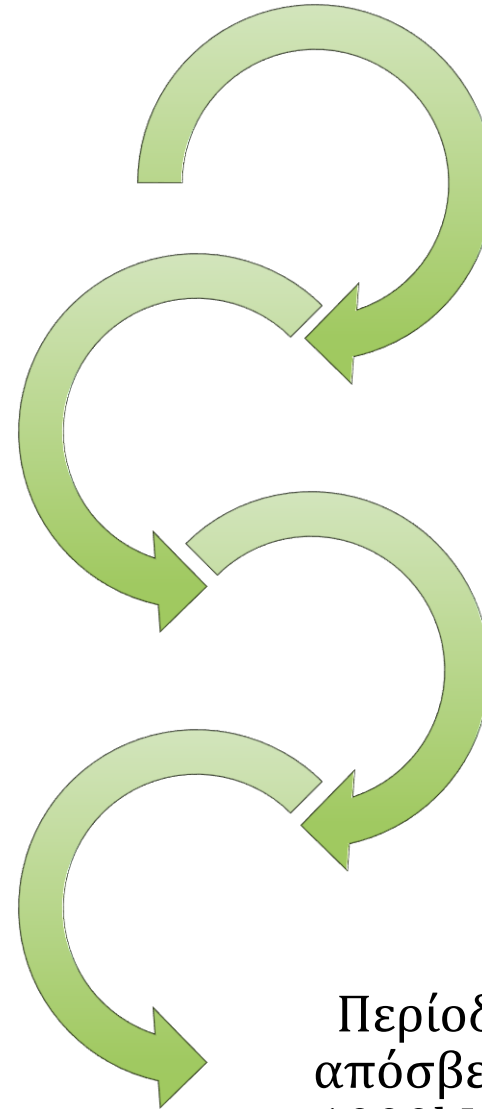
Τεχνοοικονομική ανάλυση ως προς την δυνατότητα αναβάθμισης υφιστάμενης μονάδας με προσθήκη λιπών/ελαίων



Μεθοδολογία

Περίοδος απόσβεσης
500kW-el

Κατασκευαστικά/
λειτουργικά έξοδα
1000kW-el



Κατασκευαστικά/
λειτουργικά έξοδα
500kW

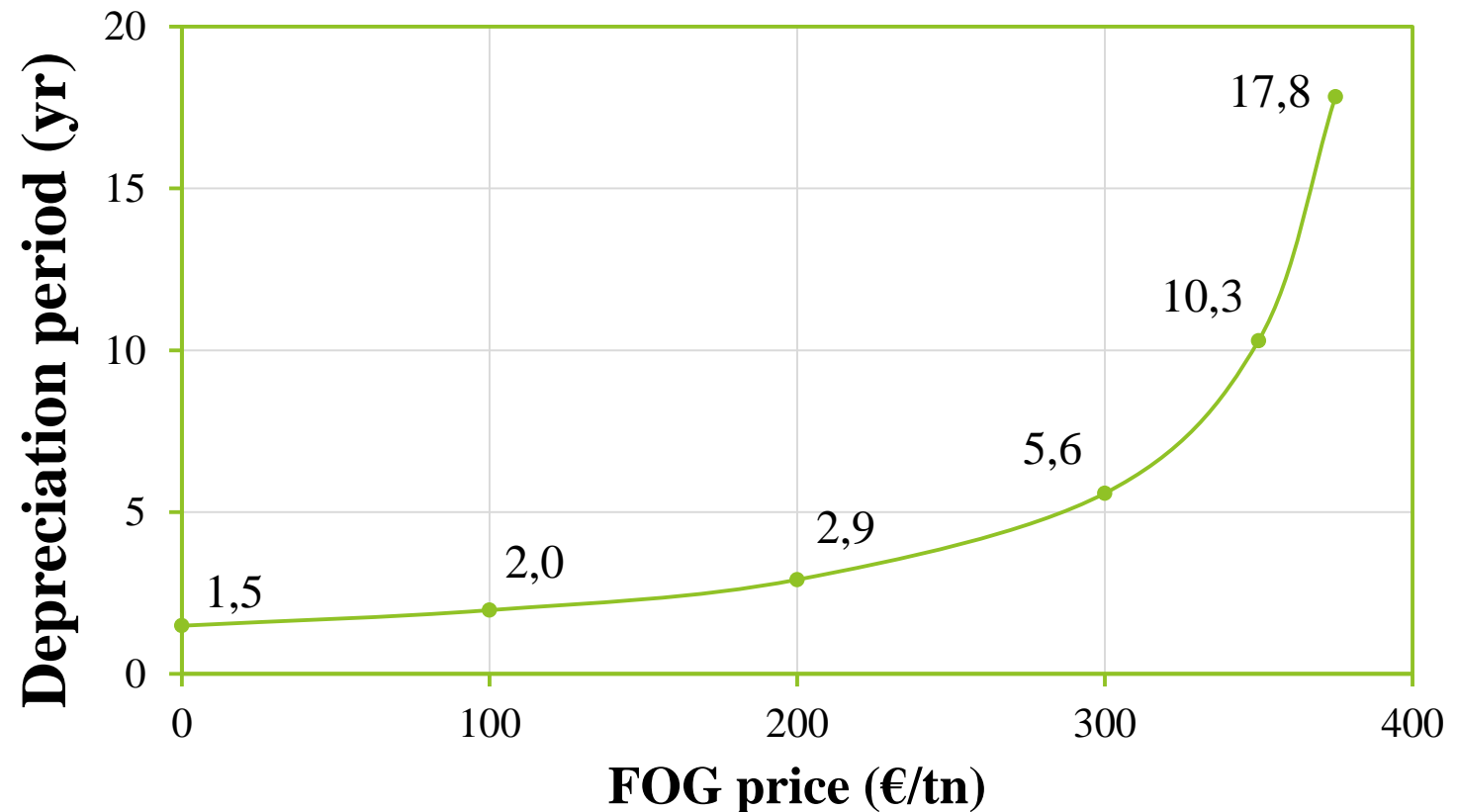
Προσθήκη λιπιδίων -
Αναβάθμιση στα 1000kW-el

Περίοδος
απόσβεσης
1000kW-el

Αποτελέσματα

- ▶ Η προσθήκη 1% λιπών/ελαίων σε αντιδραστήρες αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων μετά την χρήση της γαλακτωματοποίησης αναβαθμίζει την εγκατάσταση από τα 500 kW στα 1000 kW.

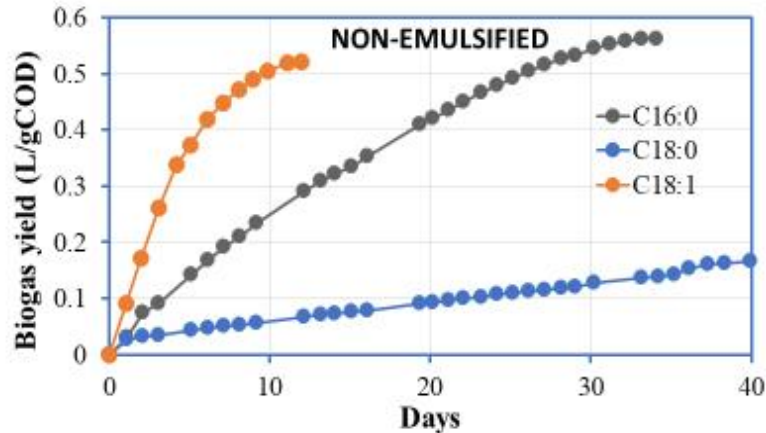
- Η περίοδος αποπληρωμής εξαρτάται από την τιμή των λιπών/ελαίων. Η εν λόγω αναβάθμιση δεν συμφέρει, όταν η τιμή των λιπών/ελαίων είναι υψηλότερη των 300 €/tn.



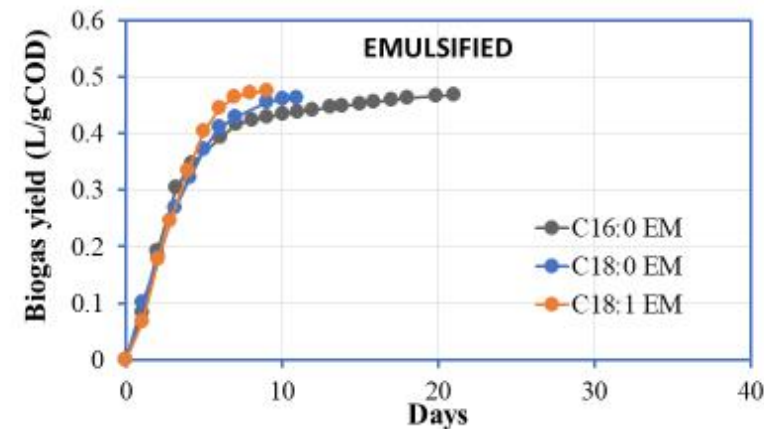
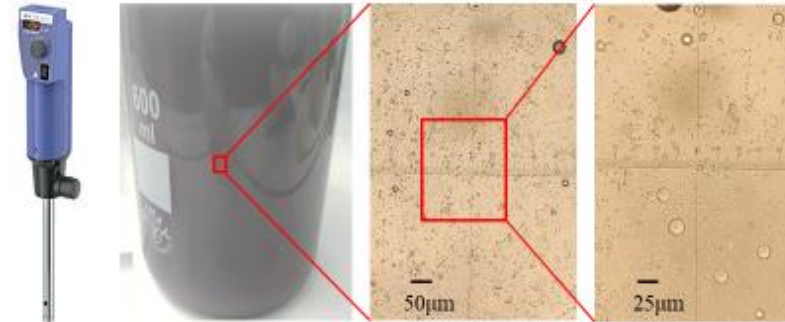
Γενικά Συμπεράσματα

- ▶ Η μέθοδος της γαλακτωματοποίησης λιπών και ελαίων συμβάλει στην επίτευξη υψηλών ρυθμών αποικοδόμησης και σε περιορισμό των λειτουργικών προβλημάτων του αντιδραστήρα.

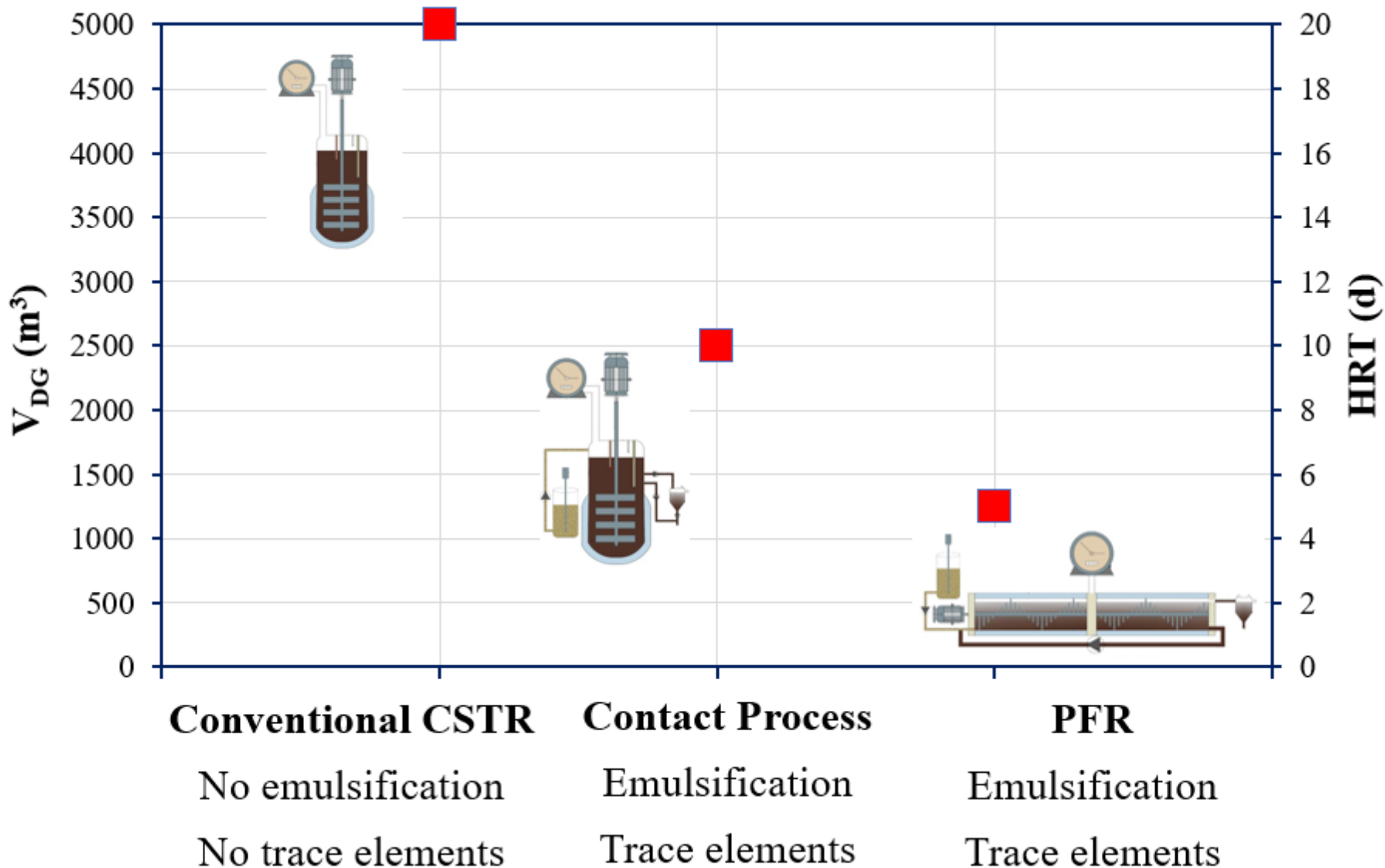
Μη-Γαλακτωματοποιημένο



Γαλακτωματοποιημένο



Γενικά Συμπεράσματα



- ▶ Αναπτύχθηκε και βελτιστοποιήθηκε κατάλληλος τύπος αντιδραστήρα.
- ▶ Η προσθήκη 1% λιπών/ελαίων μπορεί να οδηγήσει σε διπλασιασμό της δυναμικότητας σε υφιστάμενες μονάδες.

ΑΠΟΡΙΕΣ



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!